



**UniCEUB – Centro Universitário de Brasília**  
**FAET – Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia**  
**Curso de Engenharia da Computação**  
**Projeto Final**

**INGO HENRIQUE MAMEDE KRONEMBERGER**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA *INDOOR***  
**DE COMUNICAÇÃO DE DADOS, PELA REDE**  
**ELÉTRICA, EM UM CIRCUITO ISOLADO.**

**BRASÍLIA, DF**  
**2º SEMESTRE DE 2009**

**INGO HENRIQUE MAMEDE KRONEMBERGER**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA *INDOOR*  
DE COMUNICAÇÃO DE DADOS, PELA REDE  
ELÉTRICA, EM UM CIRCUITO ISOLADO.**

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia da Computação, como requisito  
parcial para obtenção do grau de  
Engenheiro de Computação.

Orientador: Prof. José Julimá Bezerra Junior

BRASÍLIA, DF  
2º SEMESTRE DE 2009

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida e pela saúde. Por me proporcionar uma família que me apóia e me incentiva. Por ser rodeado de pessoas que torcem por mim e que sei que posso contar em todos os momentos.

Gostaria de citar algumas pessoas que participaram diretamente dessa jornada que chega ao fim:

Ao meu pai, Sidnei Kronemberger, pelo conhecimento, ajuda e por todo o esforço que tem feito para que eu pudesse me tornar Engenheiro.

À minha mãe, Maryland Mamede, por todas as orações, pelo amor e a torcida pelo sucesso.

À Marie Lou, por todos os conselhos, ajuda técnica e incentivo em toda a vida acadêmica.

À minha amada namorada, Patrícia Martins, pelo companheirismo, por me entender e ajudar nos momentos difíceis, por estar sempre presente nos momentos mais importantes e pelo amor passado durante todo o tempo juntos.

Aos meus irmãos Sidnei, Maíra, Christian e Luiza, pela paciência e por me aturar nos momentos de mau humor e proporcionar momentos de descontração.

À minha madrinha Rose, pelas dicas e conselhos sempre muito valiosos.

A toda minha família, incluindo avós, tios e primos, por constituírem um clima familiar saudável de união, respeito e paz.

Ao Professor e Orientador José Julimá Bezerra Junior, pelo conhecimento técnico e por me direcionar para o caminho correto.

E, é claro, aos meus amigos que me acompanharam e proporcionaram sempre momentos de descontração, sem os quais não seria possível a conclusão desta jornada.

## EPÍGRAFE

“Deus não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo só depende da nossa vontade e perseverança”.  
Albert Einstein.

## RESUMO

Este trabalho aborda a tecnologia que permite a transmissão de dados pela rede elétrica (PLC – Powerline communication) em circuitos *indoor*. Esta tecnologia é capaz de promover a inclusão digital, impossível com as demais tecnologias de telecomunicação existentes atualmente. O padrão adotado para a comunicação foi a *HomePlug AV*, que tem taxas de transmissão de até 200 Mbps, utiliza o protocolo TCP/IP, usa a modulação OFDM e a segurança AES de 128 bits, implementado em protótipo projetado para transmissão de dados pela rede elétrica num circuito isolado. O protótipo permitiu avaliar as características e possíveis aplicações da tecnologia PLC em circuitos *indoor*. Também foram abordadas as características da rede elétrica como meio de transmissão, uma vez que esta tem importância fundamental na recuperação do sinal e eficiência do sistema. O projeto envolve recursos de engenharia, tanto na parte da construção do protótipo para transmissão de dados pela rede elétrica no circuito isolado, como nas análises dos resultados obtidos nos testes de transmissão.

*Palavras-Chave: Rede elétrica, circuito, indoor, inclusão digital, HomePlug AV, protótipo.*

## ABSTRACT

This paper approaches a technology that allows data transmission through the powerline system (PLC) in indoor circuits. This technology is capable of promoting digital inclusion, impossible with other communication technologies existing today. The model used for communication was the *HomePlug AV*, that has transmission rate of until 200 Mbps, uses the TCP/IP protocol, the OFDM modulate and the AES security of 128 bits, implemented in a prototype designed for data transmission through the powerline system in an isolated circuit. The prototype allowed the evaluation of the characteristics and the practical use of the PLC technology in indoor circuits. The electrical powerline was also evaluated as a mean of transmission since it is important for the recovery of the signal and the efficiency of the system. This project involved engineering recourses, when constructing the prototype for data transmission through the powerline in an isolated circuit, and in the analysis of the results obtained in the transmission tests.

*Keywords: Powerline, circuit, indoor, digital inclusion, HomePlug AV, prototype.*

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	I
EPÍGRAFE.....	II
RESUMO.....	III
ABSTRACT.....	IV
SUMÁRIO.....	V
LISTA DE ABREVIATURAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Motivação.....	2
1.2 Objetivo Geral.....	2
1.3 Objetivo Específico.....	2
1.4 Justificativa e relevância do trabalho.....	3
1.5 Escopo do trabalho.....	3
1.6 Resultados esperados.....	3
1.7 Estrutura do trabalho.....	4
2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	5
2.1 Problemas.....	5
2.1.1 Ruído.....	5
2.1.2 Interferência.....	6
2.1.3 Impedância da rede.....	6
2.1.4 Atenuação.....	6
2.2 Demonstração.....	7
3 REFERENCIAL TEÓRICO E BASES METODOLÓGICAS.....	12
3.1 Aspectos gerais.....	12
3.2 Conceitos básicos.....	15
3.3 Terminologia.....	16
3.4 Aspectos gerais do PLC.....	16
3.4.1 Aspectos positivos.....	17
3.4.2 Aspectos negativos.....	17
3.5 Conceitos básicos de modulação.....	18
3.5.1 Multiplexação.....	18
3.5.1.1 OFDM.....	19
3.6 Segurança.....	21
3.7 Regulamentação no Brasil.....	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 Planejamento dos experimentos.....	23
4.2 Ambiente de testes.....	23
4.3 Circuito isolado.....	24
4.4 Hardware.....	26
4.5 Software.....	27
5 APLICAÇÃO DOS TESTES COM RESULTADOS.....	29
5.1 Testes com HomePlug.....	29
5.1.1 Primeiro teste – Transferência de dados, em condições ideais.....	29
5.1.1.1 Análise do primeiro experimento.....	30
5.1.2 Segundo teste – Fator distância.....	30
5.1.2.1 Análise do segundo experimento.....	32

5.1.3 Terceiro teste – Interferência por eletrodoméstico.....	32
5.1.3.1 Análise do terceiro experimento .....	33
5.1.4 Quarto teste – Diferentes tipos de arquivos.....	33
5.1.4.1 Análise do quarto experimento .....	35
5.2 Comparativo com a rede FastEthernet.....	35
5.3 Comparativo com a rede Wireless G.....	36
5.4 Custos de instalação .....	37
6 CONCLUSÃO .....	39
BIBLIOGRAFIA.....	40
ANEXO A.....	42
Nota Técnica nº 0092009-SRD/ANEEL .....	42
ANEXO B.....	49
Resolução Normativa nº 3752009.....	49
ANEXO C.....	54
Especificações do HomePlug TP-Link TL-PA201 .....	54



## LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Corrente Alternada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AES	Advanced Encryption Standard
ATA	Advanced Technology Attachment
BPL	Broadband Over Powerline
DAB	Digital Áudio Broadcasting
DVB	Digital Video Broadcast
EUA	Estados Unidos da América
FDM	Frequency-Division Multiplexing
HD	Hard Disk
HDTV	High Definition Television
HT	Hiperthread
ISI	Inter symbol interference
MAC	Media Access Control
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OPERA	Open PLC European Research Alliance
PLC	PowerLine Communication
PLT	PowerLine Telecommunication
PUA	PLC Utilities Alliance
RAM	Random Access Memory
RF	Rádio Frequência
RPM	Rotações por minuto
SATA	Serial ATA
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SS	Spread Spectrum
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
VoIP	Voz sobre IP
VDSL	Very high bit-rate Digital Subscriber Line

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Principais obstáculos enfrentados na transmissão de dados (DUQUE, 2001).....	1
Figura 2.1: Gráfico de atenuação em frequência em prédios residenciais (DUQUE, 2001). ....	8
Figura 2.2: Gráfico de atenuação em frequência de uma residência em bairro de classe média, sem cargas específicas (DUQUE, 2001). ....	10
Figura 2.3: Gráfico de atenuação em frequência de uma residência em bairro de classe média, com cargas específicas (DUQUE, 2001). ....	10
Figura 3.1: Experiências mundiais com PLC. ....	12
Figura 3.2: Concorrentes do PLC. ....	13
Figura 3.3: Medidor eletrônico de energia elétrica.....	14
Figura 3.4: Elementos de um sistema de comunicação, adaptado de (HAYKIN, 2004).....	15
Figura 3.5: Divisão de canais segundo FDM e OFDM (DOURADO, 2004). ....	20
Figura 3.6 - Funcionamento da modulação OFDM (DOURADO, 2004). ....	20
Figura 4.1: Enrolamentos de um transformador isolador.....	24
Figura 4.2: Diagrama elétrico do circuito isolado. ....	24
Figura 4.3: Componentes do circuito isolado.....	25
Figura 4.4: HomePlug TP-Link modelo TL-PA201.....	26
Figura 4.5: Tela inicial do software PLCTest. ....	27
Figura 4.6: Gráfico do NetWorx. ....	28
Figura 4.7: Display numérico do NetWorx. ....	28
Figura 5.1: PLCTest com HomePlugs próximos. ....	29
Figura 5.2: Display NetWorx com HomePlugs próximos. ....	30
Figura 5.3: Gráfico NetWorx com HomePlugs próximos.....	30
Figura 5.4: PLCTest com HomePlugs a 50 metros.....	31
Figura 5.5: Display NetWorx com HomePlugs a 50 metros.....	31
Figura 5.6: Gráfico NetWorx com HomePlugs a 50 metros. ....	31
Figura 5.7: PLCTest com interferência entre os HomePlugs.....	32
Figura 5.8: Display NetWorx com interferência entre os HomePlugs. ....	33
Figura 5.9: Gráfico NetWorx com interferência entre os HomePlugs. ....	33
Figura 5.10: Display NetWorx – Arquivo único. ....	34
Figura 5.11: Display NetWorx – Pacote com vários arquivos. ....	34
Figura 5.12: Gráfico NetWorx – Arquivo único.....	34
Figura 5.13: Gráfico NetWorx – Pacote com vários arquivos. ....	34
Figura 5.14: PLCTest – Rede FastEthernet.....	35
Figura 5.15: Display NetWorx – Rede FastEthernet. ....	36
Figura 5.16: PLCTest – Rede Wireless G.....	36
Figura 5.17: Display NetWorx – Rede Wireless G. ....	37
Figura 5.18: Custo de instalação de uma rede local, com três tecnologias (JOANITTI, 2008). ....	37

# 1 INTRODUÇÃO

A idéia de se transmitir sinais de dados pela rede elétrica remonta aos tempos do telégrafo (inventado em 1835), pois o uso de cabeamento dedicado para dispositivos instalados sempre representou custos adicionais e nem sempre viáveis. A rede elétrica foi originalmente projetada para fornecer potência e não transmitir dados, mas, no início dos anos 1980, foi inventado um dispositivo capaz de captar, modular e injetar na rede elétrica os sons captados por um microfone, sendo que esse sinal era recuperado e demodulado em outro local e convertido novamente em som. Esse sistema foi batizado de “Babá Eletrônica”, pois permitia aos pais monitorar suas crianças em outro cômodo da residência (DUQUE, 2001).

O avanço das técnicas de modulação e multiplexação permitiram que sinais diferentes fossem transmitidos sobre um mesmo meio físico: a rede elétrica. Os principais obstáculos enfrentados na transmissão de dados pela rede elétrica são: ruído, atenuação e distorção, mostrados na figura 1.1 (DUQUE, 2001).

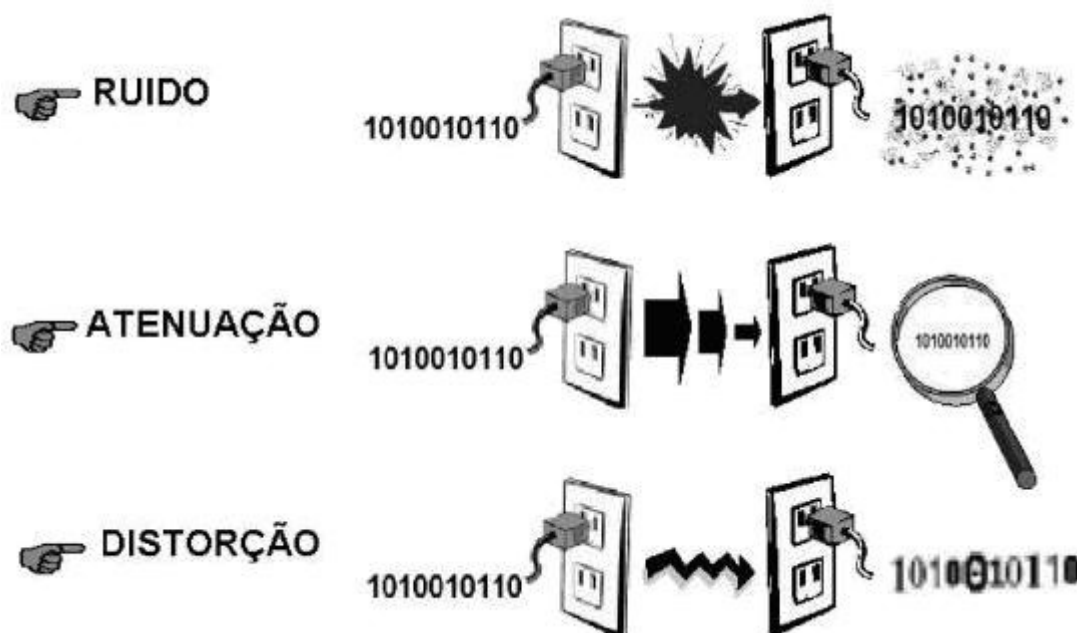


Figura 1.1: Principais obstáculos enfrentados na transmissão de dados (DUQUE, 2001).

Uma vez superados esses obstáculos, uma série de aplicações podem ser citadas; aplicações que vão da telemetria e sistemas de controle de sensores à transmissão de Internet e tráfego de dados em alta velocidade.

Do ponto de vista econômico, a tecnologia PLC (Powerline Communication) apresenta uma grande vantagem, com relação a outras tecnologias, para transmissão de dados: a existência e utilização de infraestrutura básica para a comunicação. Já do ponto de vista social, a tecnologia pode representar a democratização dos meios de transmissão de informação.

O uso da tecnologia, para transmissão de dados pela rede elétrica, poderá ser usado para fornecer internet banda larga, TV a cabo, telemetria (medição remota de sensores), e vários outros, serviços em qualquer tomada da residência ou do trabalho.

## **1.1 Motivação**

A motivação do trabalho se deve, principalmente, à infinidade de recursos que a tecnologia oferece, tanto na área de redes como na área de controle, e por ser um tema atual, porém pouco difundido no Brasil.

## **1.2 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é fazer uma introdução teórica do funcionamento da tecnologia PLC, com suas principais características, mostrar a viabilidade da implantação da tecnologia e realizar testes, usando um produto comercial, que utiliza a rede elétrica como meio de transmissão.

## **1.3 Objetivo Específico**

O objetivo específico deste trabalho consiste em montar um sistema indoor de comunicação de dados pela rede elétrica, em um circuito isolado, para a realização de testes utilizando *modems* comerciais, com tecnologia PLC, além disso, realizar testes de transmissão de dados entre dois *notebooks*, usando o circuito isolado, e comparar os resultados obtidos com testes feitos em uma rede *FastEthernet* e uma rede *Wireless G*.

## **1.4 Justificativa e relevância do trabalho**

A importância desse trabalho deve-se à atualidade do tema e, principalmente, ao grande número de aplicações que a tecnologia pode proporcionar. A complexidade e o escopo do tema podem inspirar vários outros projetos acadêmicos.

O trabalho envolve recursos de engenharia, tanto na parte da construção do protótipo para transmissão de dados pela rede elétrica, no circuito isolado, bem como nas análises dos resultados obtidos nos testes de transmissão.

O tema abordado foi desenvolvido observando-se a viabilidade técnica do projeto e o conhecimento das matérias abordadas, durante o curso.

## **1.5 Escopo do trabalho**

Implementar um protótipo utilizando *modems* comerciais PLC, num circuito isolado, para fazer uma demonstração da transmissão de dados pela rede elétrica *indoor* e compará-la com o padrão *FastEthernet* e *Wireless G*. Realizar os testes utilizando os *softwares* NetWorx e PLCTest e avaliar a transmissão de diferentes tipos de dados entre dois “notebooks”, utilizando a rede elétrica como aqui proposto e a comunicação via rede *FastEthernet* e *Wireless G*.

Medir alguns fatores como:

- Taxa de transmissão;
- Atenuação por distância;
- Interferência de ruídos.

Evidenciar as vantagens e desvantagens da tecnologia PLC, quando se refere à velocidade e custo com infra-estrutura.

## **1.6 Resultados esperados**

Protótipo funcional que pode ser utilizado na comprovação da viabilidade da transmissão de dados pela rede elétrica e um comparativo com redes *Fast Ethernet* e *Wireless G*. Pretende-se, também, deixar um estudo aprofundado das vantagens e desvantagens da viabilidade de implantação da tecnologia PLC no

Brasil, com análise completa, baseada na comparação da tecnologia PLC com tecnologias amplamente utilizadas, como a *FastEthernet* e *Wireless G*.

## **1.7 Estrutura do trabalho**

O trabalho foi estruturado, além da introdução, em outros cinco capítulos. No capítulo 2, são apresentados os problemas que a tecnologia PLC enfrenta atualmente e quais as soluções existentes para os principais obstáculos de implantação da transmissão de dados pela rede elétrica (ruído, impedância e atenuação).

O capítulo 3 apresenta o referencial teórico e as bases metodológicas, em que se trata do estado da arte da tecnologia PLC e os fundamentos da modulação, que possibilitam a comunicação pela rede elétrica.

O capítulo 4 trata dos materiais e métodos, onde se apresenta uma descrição detalhada dos principais componentes de *hardware* utilizado no protótipo, para a realização dos testes, e dos *softwares* utilizados, para analisar as transmissões pelo circuito.

No capítulo seguinte, é apresentada a aplicação da solução e os resultados obtidos nos testes com o protótipo. É feita uma descrição detalhada da aplicação e dos resultados, mostrando sempre os dados mais relevantes.

O capítulo 6 finaliza o trabalho, com as conclusões finais e as contribuições a respeito de todo o trabalho.

## 2 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Sabe-se que as redes elétricas não foram projetadas para o uso em comunicação de dados; elas são um ambiente hostil, que tornam difícil a propagação do sinal. Os níveis de ruído são excessivos e a atenuação em frequências é muito grande, e, ainda, parâmetros importantes do canal, como impedância e atenuação, são variantes no tempo e aleatórios, o que torna difícil o uso da rede elétrica para a comunicação de dados (PINHO, 2005).

### 2.1 Problemas

Os principais problemas encontrados na rede elétrica que ainda afetam o sinal de dados que passar por esse meio são:

#### 2.1.1 Ruído

Os equipamentos geradores de ruídos para o canal PLC podem ser classificados em 4 categorias:

- Ruído Síncrono: constituído de pulsos de curta duração (10 – 100  $\mu$ s) e frequência de 60Hz, normalmente provocados por *dimmers* (*Reguladores de potência*).
- Ruído Tonal: são harmônicos, na faixa de 10kHz a 1MHz, normalmente gerados por fontes chaveadas.
- Impulso de alta frequência, gerado por motores como os do aspirador de pó, furadeira e secador.
- Impulso de uma ocorrência, produzido pelo simples fato de ligar e desligar um aparelho eletrônico. Esses aparelhos possuem capacitores que, ao carregar e descarregar, provocam tensões transitórias.

Com o entendimento do ruído inerente à rede elétrica doméstica, sugere-se que os sistemas PLC devam ser desenvolvidos utilizando-se métodos de modulação e filtros que evitem, ou anulem as frequências atingidas pelos tipos de ruído apresentados (JOANITTI, 2008).

### **2.1.2 Interferência**

A frequência utilizada pelo PLC varia de 1 a 30 MHz. Essa faixa é utilizada também por outros serviços de comunicação, como radiodifusão e, por isso, ainda existe um grande problema de interferência entre eles. Os cabos da rede elétrica não possuem uma blindagem eficiente; assim, ocorre o escape de radiações que ocasionam mudanças no sinal de radiofrequência. Alguns equipamentos domésticos geram harmônicos na rede elétrica, o que afeta o sinal do PLC e o torna inviável, em alguns lugares.

### **2.1.3 Impedância da rede**

A impedância delimita a potência que o transmissor deve injetar na rede, aumentando assim a complexidade e, conseqüentemente, o custo dos transmissores.

Alguns dos fatores que modificam a impedância são:

- Impedância do transformador de distribuição: aumenta com a frequência.
- Impedância característica do cabo: cabos com características e finalidades diferentes apresentam impedâncias distintas, o que prejudica a homogeneidade do canal de transmissão.
- Impedância dos equipamentos conectados: pode variar entre 10 e 100 ohms. O descasamento de impedância aumenta o índice de reflexão do sinal transmitido, o que acarreta em uma diminuição da potencia do sinal original (JOANITTI, 2008).

### **2.1.4 Atenuação**

Este é um sério problema na rede elétrica, já que sinais de alta frequência, como PLC, sofrem uma grande atenuação em pequenas distâncias.

Outro fator relevante são as tomadas, que constituem um ponto sem terminação, ou seja, pontos que não possuem cargas conectadas. Nestes terminais, cargas podem ser adicionadas ou removidas, o que provoca uma



variação da carga total do sistema e gera descasamento de impedância, aumentando a taxa de reflexão do sinal.

## 2.2 Demonstração

A utilização de redes elétricas como canal de comunicação implica no conhecimento de como os sinais de alta frequência são afetados pelas características da rede elétrica. Características como ruído, atenuação e impedância da rede elétrica são os fatores mais importantes a serem considerados, na análise da distorção dos sinais, no trajeto entre o transmissor e o receptor. O experimento e as medições abaixo foram retiradas de (DUQUE, 2001).

Sabe-se que vários autores já se propuseram a modelar redes elétricas *Intrabuilding* ou *indoor* (termos em inglês, para designar redes elétricas prediais), para a avaliação da distorção dos sinais de comunicação. As conclusões a que chegaram foram:

- As cargas localizadas entre fases diferentes fornecem um caminho de condução do sinal, porém resultam em uma atenuação entre dois pontos.
- A atenuação dos sinais de comunicação é particularmente alta quando o caminho de condução do sinal entre o transmissor e o receptor é longo e contém diversas cargas espalhadas.
- A variação da carga causa mudanças na característica em frequência, entre dois pontos.
- Para altas frequências, podem ocorrer efeitos de linha de transmissão, quando o caminho entre o transmissor e o receptor é longo. Um sinal de 100 kHz tem 3.000 m de comprimento de onda, Logo, distâncias superiores a 500 metros podem ocasionar os efeitos de linha de transmissão.

Ao propagar-se pelo canal, o sinal sofre mudanças, tanto de amplitude como de fase, ocasionadas pela absorção da energia do sinal pelo canal. Em uma rede elétrica do tipo *intrabuilding*, tais mudanças são em função da quantidade de cargas ligadas na linha, da geometria e disposição dos condutores, do tipo das cargas instaladas, do tipo de ligação da carga na rede

elétrica, etc. Como tais fatores não são constantes nem concomitantes, nem sempre uma relação matemática pode ser encontrada.

Para a avaliação da rede elétrica como um canal de comunicação, produziram-se várias curvas de atenuação em frequência, em três tipos de redes distintas:

- a) Prédio residencial com 4 andares.
- b) Prédio residencial com 12 andares.
- c) Residência em bairro de classe média (essa e outras 20 residências são atendidas por um transformador).

Vale salientar que essas medições foram efetuadas nos EUA; logo, os casos citados anteriormente são alimentados com um transformador *split phase*, muito comum em sistemas de distribuição residencial americanos. Os dados foram coletados em 16 frequências distintas, entre 20 kHz e 240 kHz. Os dados obtidos são mostrados nas figuras 2.1, 2.2 e 2.3:

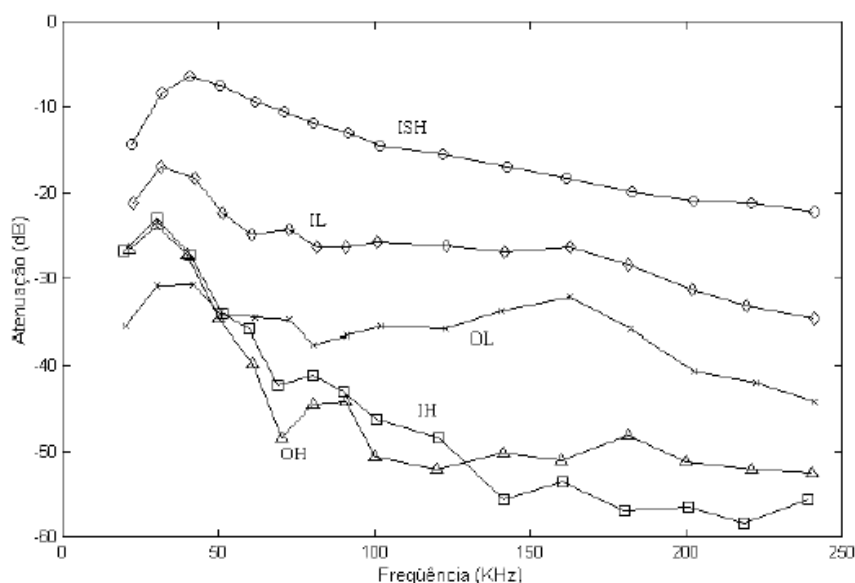


Figura 2.1: Gráfico de atenuação em frequência em prédios residenciais (DUQUE, 2001).

O gráfico da Figura 2.1 mostra a medida da atenuação em prédios residenciais, efetuadas entre o período de 18:00 h e 20:00 h, e com as seguintes denominações:

- a) IL: mesma fase, prédio de 4 andares, grandes distâncias.
- b) IH: mesma fase, prédio de 12 andares, grandes distâncias.

- c) ISH: mesma fase, prédio de 12 andares, pequenas distâncias.
- d) OL: fases opostas, prédio de 4 andares, grandes distâncias.
- e) OH: fases opostas, prédio de 12 andares, grandes distâncias.

Como pode ser observado na Figura 2.1, o prédio de 4 andares mostra uma menor atenuação em frequência do que o prédio de 12 andares, fato que se deve ao menor número de cargas instaladas no prédio de 4 andares. Porém, nem sempre a atenuação entre fases opostas é menor que a atenuação na mesma fase, como mostram as curvas IH e OH da figura 2.1.

Já a figura 2.2 mostra a atenuação em uma residência situada em um bairro de classe média, sem cargas, ao contrário da figura 2.3, que mostra a atenuação do sinal da residência com cargas específicas. As denominações para os gráficos da figura 2.2 e da figura 2.3 são mostradas a seguir:

- a) I: mesma fase, sem carga;
- b) O: fases opostas, sem carga;
- c) ITV: mesma fase, com uma televisão como carga;
- d) IEK: mesma fase, com uma panela elétrica como carga;
- e) OCD: fases opostas, com uma secadora de roupas como carga;
- f) OER: fases opostas, com um aquecedor elétrico como carga.

As curvas I e O da figura 2.2 foram medidas às 4:00 h, quando virtualmente não existem cargas ligadas na residência. As curvas OER e OCD são as mesmas da figura 2.3, colocadas para comparação.

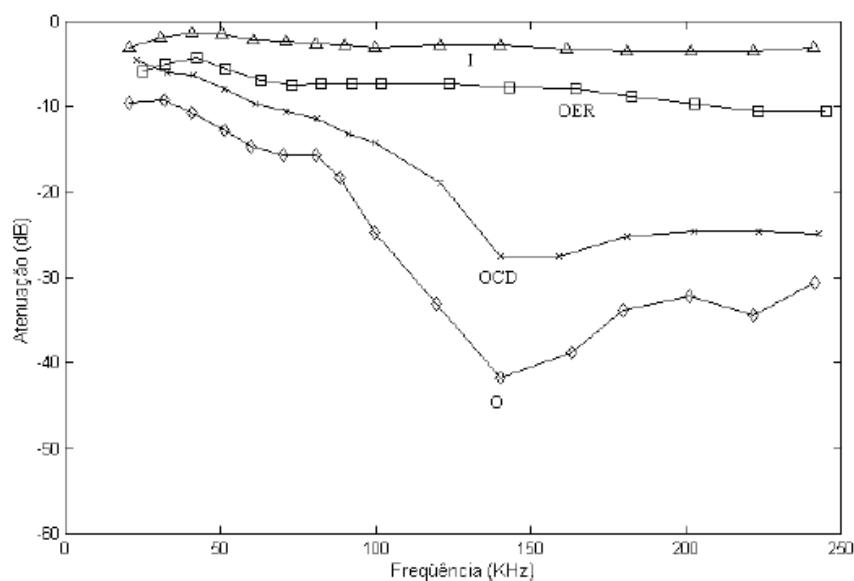


Figura 2.2: Gráfico de atenuação em frequência de uma residência em bairro de classe média, sem cargas específicas (DUQUE, 2001).

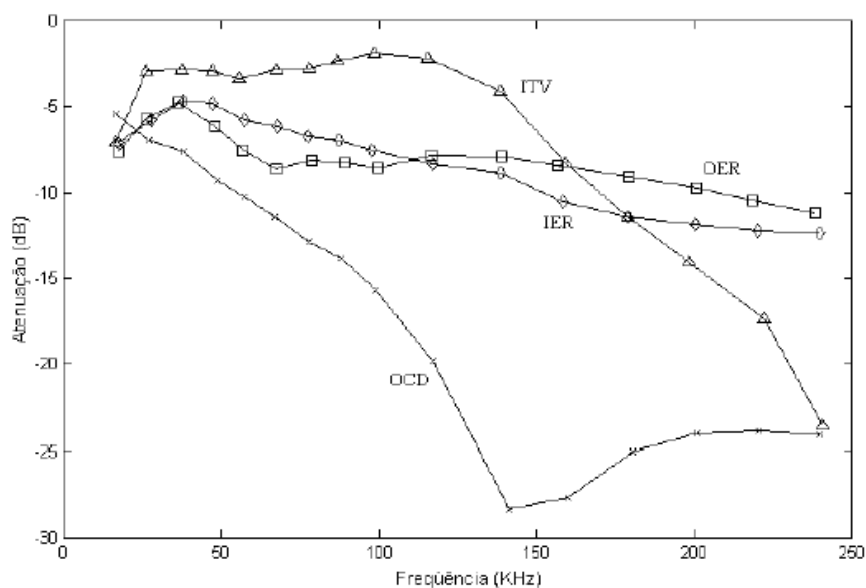


Figura 2.3: Gráfico de atenuação em frequência de uma residência em bairro de classe média, com cargas específicas (DUQUE, 2001).

Para a mensuração do efeito que as cargas domésticas causam na atenuação da rede elétrica residencial, o seguinte procedimento foi utilizado: na situação da curva I (sem cargas ligadas), foram introduzidas na rede as cargas denotadas por TV, CD e ER, separadamente, e, em cada carga, foram medidos os níveis de atenuação da rede. Como pode ser observado, a inserção das cargas OER e OCD reduziu o nível de atenuação da rede, por fornecer um caminho de baixa impedância para o sinal. Já a inserção das cargas ITV e IER provocaram o aumento da atenuação, pois são cargas significativas: a carga ER

é uma resistência pura de  $10\ \Omega$ , enquanto que a carga TV tem um comportamento puramente capacitivo.

As conclusões que podem ser tomadas, levando em conta os gráficos anteriores são:

a) Exceto por casos onde o caminho em que o sinal percorre é curto, a atenuação em redes elétricas *intrabuilding* é tipicamente maior que 20 dB, a não ser que o transmissor e o receptor se situem na mesma fase.

b) Quando o transmissor e o receptor estão na mesma fase, a atenuação tende a ser menor do que se estivessem em fases diferentes. Entretanto, as diferenças entre as atenuações na mesma fase e de fases diferentes não são tão significativas. Podem ocorrer casos em que a atenuação na mesma fase seja maior que em fases diferentes.

c) A atenuação do sinal tende a crescer com a frequência, embora tal crescimento não seja sempre monotônico.

d) A variação das cargas em uma rede elétrica afeta a atenuação da rede elétrica. Como o perfil das cargas varia com o tempo, a atenuação pode ser considerada variante no tempo, sobre qualquer frequência. Variações de 20 dB não são difíceis de ocorrer.

e) Não é possível encontrar um modelo matemático geral para a modelagem do canal da rede elétrica *intrabuilding*.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO E BASES METODOLÓGICAS

Neste capítulo, são expostos os conceitos básicos e os fundamentos para a transmissão de dados pela rede elétrica, bem como o estado da arte da tecnologia PLC.

#### 3.1 Aspectos gerais

As tecnologias ligadas aos meios de comunicação estão em constante ascensão, e, por este motivo, se torna cada vez mais necessário desenvolver um sistema eficaz, rápido e com ampla distribuição. E é neste cenário que a tecnologia PLC entra para competir com outros meios de transmissão de dados.

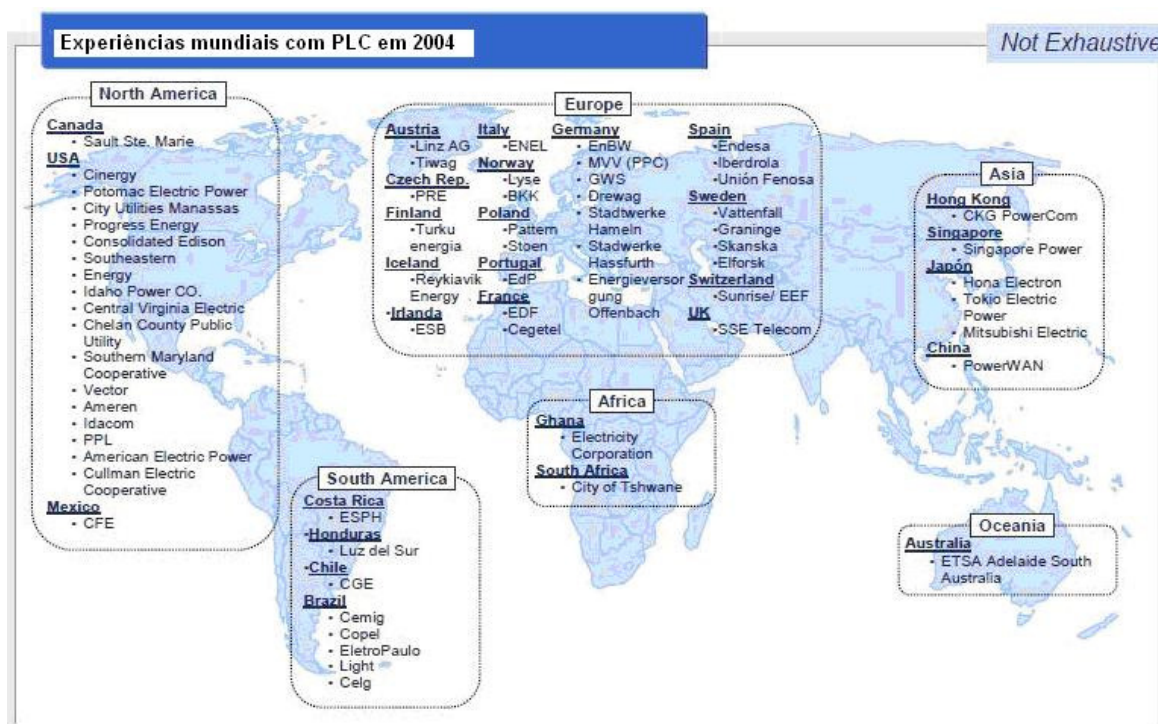


Figura 3.1: Experiências mundiais com PLC.

Fonte: White Paper on Power Line Communications (PLC) 2004, PLC Utilities Alliance (PUA). Arthur D. Little, firma de consultoria. Disponível em:

[www.pua-plc.com/files/upload/041021\\_Whitepaper\\_PLC\\_2004.pdf](http://www.pua-plc.com/files/upload/041021_Whitepaper_PLC_2004.pdf)

Acessado em: 5 de Setembro de 2009.

Pelo quadro da figura 3.1, percebe-se que vários projetos, inclusive no Brasil, abordam este assunto e, por esse motivo, a tecnologia PLC tem evoluído e tornou-se uma alternativa competitiva no mercado.

A figura 3.2 relaciona alguns concorrentes do PLC, mostrando os principais prós e contras de cada uma das tecnologias e a maior velocidade de transmissão alcançada por elas, atualmente, em nível comercial.

RAIO-X DAS TECNOLOGIAS DE ACESSO À REDE								
CONEXÃO	HSPA (3G)	ADSL2+	DOCSIS 3.0 (Cabo)	FTTH (Fibra óptica)	Rádio	BPL (Rede elétrica)	Satélite	WIMAX
PRÓ	Mobilidade	Ampla cobertura	Boa velocidade	Rápida e estável	Vai a regiões afastadas	Ampla Cobertura	Vai a regiões isoladas	Mobilidade
CONTRA	É cara e a cobertura é restrita	Velocidade baixa	Lenta em horários de pico	É cara	Sujeita a falhas	Pode sofrer interferência e ficar lenta	Atraso na transmissão	Ainda não chegou ao mercado
VELOCIDADE MÁXIMA	14,4 Mbps <sup>(1)</sup>	24 Mbps	160 Mbps	100 Mbps	30 Mbps <sup>(2)</sup>	200 Mbps	10 Mbps <sup>(3)</sup>	100 Mbps <sup>(4)</sup>

[1] JÁ IMPLEMENTADO [2] PLANO CORPORATIVO DA NEDVIA NO BRASIL [3] PREVISÃO DA EMPRESA TOWDAY PARA O REINO UNIDO EM 2010 [4] NOS CANAIS DE 25 MHz OU 28 MHz  
FONTES: GSM ASSOCIATION, INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, CABLE LABS, FTTH COUNCIL, UNIVERSAL POWERLINE ASSOCIATION, IEEE 802.16/2004

Figura 3.2: Concorrentes do PLC.

Fonte: Revista Info – Outubro 2009 – Pagina 76

A indústria do PLC está crescendo rapidamente e já é possível ter em casa equipamentos que permitem a utilização da rede elétrica como meio de transmissão de dados. Esses dispositivos, que estão na faixa de US\$ 30 a US\$ 200, dependendo da velocidade que o mesmo pode alcançar (de 14 a 200 Mbps), são facilmente encontrados no mercado europeu e americano e já são encontrados em algumas lojas do Brasil. A nova geração de equipamentos suporta serviços de comunicação, como VoIP e vídeo em alta definição.

O PLC já era, em 2003, uma promissora tecnologia para o uso *indoor*. Hoje, sua velocidade está em um patamar que possibilita o uso de videoconferência, jogos on-line e HDTV (*High-Definition Television*). Contudo, ainda esbarra na interferência, pois sua faixa de operação (1-30 MHz) pode ser afetada por alguns equipamentos geradores de harmônicos. Além disso, essa tecnologia pode influenciar na transmissão de sinais de sistemas, como, por exemplo, radiodifusão, inviabilizando, na maioria das vezes, a comunicação por este meio, quando próximo a uma transmissão via PLC. Isto é mais um motivo para que vários estudos estejam sendo feitos nessa área, a fim de tornar esta tecnologia mais estável.

Com a chegada da TV digital, surge outro fator a se pensar, que é sobre o canal de retorno a ser utilizado, visto que existe a busca por diferentes meios de

retransmissão desse sinal, para que se estabeleça a interatividade entre a TV e o telespectador. Referente a esse quesito, a tecnologia PLC pode ter uma importante aplicação, pois a capilaridade da rede elétrica no Brasil é bastante superior a qualquer outro tipo de serviço (cabo, xDSL, radio). Assim, uma maior fatia da população teria acesso a este recurso, o que é um ponto bastante relevante para os idealizadores da TV Digital Brasileira.

Outro sistema que é foco de estudo para o PLC é o da telemetria, que é um tipo de medição bastante interessante, que tem a finalidade de estabelecer um monitoramento na rede, o que pode evitar desperdícios de energia, em casos de excesso de potência reativa, além de proporcionar um controle em tempo real do consumo de energia de seus contratantes.

O medidor eletrônico digital, mostrado na figura 3.3, tem recursos de leitura remota do medidor, para bilhetagem, perfil de consumo, perfil de demanda, perfil da qualidade de serviço e histórico das variações de cargas. Todos esses dados são acessados remotamente, utilizando a comunicação pela rede elétrica polifásica.



Figura 3.3: Medidor eletrônico de energia elétrica.

Fonte: Especificações técnicas – Medidor eletrônico digital.  
[http://www.hypertrade.com.br/argsist/especificacoes\\_amr.pdf](http://www.hypertrade.com.br/argsist/especificacoes_amr.pdf)  
Acessado em: 30 de outubro de 2009.



### 3.2 Conceitos básicos

A necessidade de se comunicar vem desde os tempos mais remotos da humanidade. Podemos até mesmo inferir que todos os seres vivos da Terra têm essa necessidade, procedendo de alguma forma, para realizar uma aproximação, ou por objetivos comuns. A comunicação vem evoluindo há muito tempo, utilizando a tecnologia disponível em cada época. Desde os sinais de fumaça dos índios americanos ou os tambores dos nativos da África, até ao moderno aparelho celular, se somam esforços muito grandes (NETO, 2005).

No sentido fundamental, a comunicação envolve implicitamente a informação transmitida de um ponto a outro, por uma sucessão de processos, como é descrito a seguir (HAYKIN, 2004):

- a) A geração de uma mensagem: voz, imagem ou dados de computador.
- b) A descrição dessa mensagem com alguma precisão, por meio de um conjunto de símbolos elétricos, auditivos ou visuais.
- c) A transformação desses símbolos em uma forma apropriada à transmissão, por um meio físico de interesse.
- d) A transmissão dos símbolos, até ao destino desejado.
- e) A transformação e reprodução dos símbolos originais.
- f) A recriação da mensagem original, com uma degradação de qualidade definível, a qual é provocada por imperfeições no sistema.

Independentemente do processo de comunicação, há três elementos básicos, em cada sistema de comunicação: transmissor, canal e receptor, como representado no diagrama da Figura 3.4.

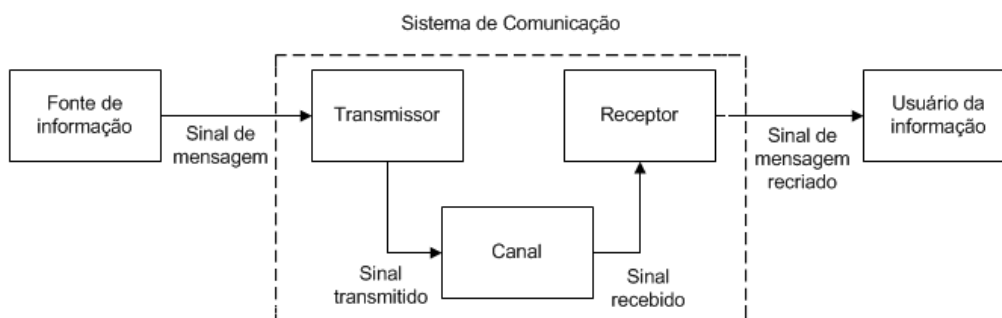


Figura 3.4: Elementos de um sistema de comunicação, adaptado de (HAYKIN, 2004).

O transmissor está localizado em um ponto do espaço; o receptor, em algum outro ponto do espaço, separado do transmissor, e o canal é o meio físico que os liga. O propósito do transmissor é converter a mensagem produzida pela fonte de informação em uma forma adequada à transmissão por um canal. Entretanto, à medida que o sinal transmitido (mensagem) se propaga ao longo do canal, ele é distorcido, devido a imperfeições do canal. Além do mais, ruído e sinais interferentes são acrescentados à saída do canal, resultando no sinal recebido, que é uma versão corrompida do sinal transmitido. O receptor tem a tarefa de operar sobre o sinal recebido, a fim de reconstruir uma forma reconhecível da mensagem original, para o usuário (HAYKIN, 2004).

### **3.3 Terminologia**

Dentre os diversos termos usados, para a definição da tecnologia, tem-se, principalmente: *Powerline Communication* (PLC), *Powerline Telecommunication* (PLT) ou *Broadband Over Powerline* (BPL). O PLC ou PLT, como o próprio nome indica, é uma comunicação através da linha de força ou linha de energia. O termo *Broadband* se refere a um canal de banda larga, muito utilizado por serviços como Internet, telefonia e vídeo.

### **3.4 Aspectos gerais do PLC**

Por não receber o devido tratamento, o canal PLC varia de acordo com o tempo e o local, possui grande atenuação para transmissão de dados, várias formas de ruído e percursos não restritos, levando a tecnologia PLC a diferenciar-se, em níveis de estrutura, topologia, propriedades físicas e numeração das cargas existentes na rede, tornando a caracterização e a modelagem do canal muito importante, ao se trabalhar em um projeto PLC (SILVA, 2006).

Como o meio de propagação do sinal não é de caráter exclusivo, a presença de ruídos e fatores que prejudicam a transmissão é inevitável. Esses ruídos podem ser provocados por aparelhos eletroeletrônicos, ligados à rede elétrica (TAVEIRA, 2004).

Uma importante característica da tecnologia PLC que a destaca, dentre outras, é a possibilidade de integração com outras tecnologias, por exemplo, as

redes *wireless* (OPERA, 2008), característica essa que permite o alcance do serviço de transmissão de dados às áreas de mais difícil acesso, que não possuem acesso à malha de rede elétrica.

#### **3.4.1 Aspectos positivos**

- Utilização da rede elétrica existente para transmissão. Não há necessidade de linhas de comunicação adicionais.
- Alta performance (45 Mbps/200 Mbps).
- Mesma velocidade de *Download* e *Upload*.
- O acesso à rede elétrica é feito por meio das tomadas elétricas. Assim, os produtos PLC tornam possível a interligação entre os diferentes equipamentos, que utilizam a malha elétrica, permitindo a criação de uma rede entre vários dispositivos, com acesso à Internet banda larga, o que é, hoje em dia, o meio mais utilizado para troca de informação.
- A tecnologia PLC permite a difusão das três aplicações chave na mesma rede: voz (Voz sobre IP), dados e imagens (vídeo).
- Redução nos custos de acesso.
- Favorecimento da inclusão digital e social.
- Leitura automática à distância, supervisão e automação de redes elétricas, por parte das distribuidoras de energia.

#### **3.4.2 Aspectos negativos**

- Interferência com sinais de mesma frequência em outros meios de comunicação, como, por exemplo, a radiodifusão.
- Emendas, "T"s, filtros de linha, transformadores, e o ligamento e desligamento de eletrônicos na rede elétrica causam ecos do sinal, por criar pontos de reflexão. Com isso, pode corromper os dados, causando perda na qualidade da transmissão.

### 3.5 Conceitos básicos de modulação

O propósito de um sistema de comunicação é entregar uma mensagem de uma fonte de informação em um formato reconhecível a um usuário, com estes fisicamente separados. Para fazer isso, o transmissor modifica a mensagem para uma forma apropriada à transmissão através do canal. Essa modificação é realizada por um processo conhecido como modulação (HAYKIN, 2004).

A modulação é o processo pelo qual alguma característica de uma onda portadora é variada de acordo com a mensagem (sinal modulante), produzindo um sinal modulado, cujas propriedades são mais compatíveis com as características do canal.

O receptor recria o sinal de mensagem original, a partir de uma versão degradada do sinal transmitido, depois da propagação através do canal. Essa recriação é realizada utilizando-se um processo conhecido como demodulação, o qual é o inverso do processo de modulação, utilizado no transmissor. Entretanto, devido à inevitável presença de ruído e distorção no sinal recebido, consideramos que o receptor não é capaz de recriar exatamente a mensagem original. A degradação resultante no desempenho do sistema como um todo é influenciada pelo tipo de esquema de modulação utilizado. Especificamente, consideramos que alguns esquemas de modulação são menos sensíveis aos efeitos de ruído e distorção que outros (HAYKIN, 2004).

#### 3.5.1 Multiplexação

O uso da modulação põe em foco outro importante requisito na transmissão de informação: a multiplexação. Multiplexação é o processo de combinar vários sinais, para a transmissão simultânea sobre o mesmo canal (VARGAS, 2004). Apoiadas nesse conceito, estão duas técnicas bastante utilizadas na comunicação pela rede elétrica:

- a) Multiplexação ortogonal por divisão de frequência (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* ou OFDM).
- b) Modulação por espalhamento espectral (*Spread Spectrum* ou SS).

O padrão do *HomePlug* utilizado no protótipo deste projeto utiliza a modulação OFDM; portanto, o foco será dado a esse tipo de multiplexação.

O OFDM deriva do método básico chamado FDM (*Frequency-Division Multiplexing*), que usa modulação por onda contínua para colocar cada sinal em uma frequência específica da banda. No receptor são usados vários filtros para separar os diferentes sinais e prepará-los para demodulação.

### 3.5.1.1 OFDM

A técnica de multiplexação OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) foi criada visando minimizar a interferência entre canais de frequência, próximos uns aos outros, e está baseada na propriedade da ortogonalidade entre sinais. Dois sinais são ditos ortogonais, quando a multiplicação de um pelo outro resulta em zero.

A tecnologia é complexa e exige processamento digital de sinais múltiplos. Consiste na divisão do canal em vários canais de banda estreita de diferentes frequências (Figura 3.5). A diferença entre a técnica convencional FDM está na forma como os sinais são modulados e demodulados, garantindo a ortogonalidade dos sinais na OFDM.

Os benefícios dessa técnica de modulação são: maior número de canais para uma mesma faixa espectral, quando comparado com a técnica FDM (vide Figura 3.5), resistência à interferência RF e pouca distorção causada por caminhos múltiplos. Isto é importante porque, em um típico cenário de *broadcast*, os sinais transmitidos chegam ao receptor através de vários caminhos de diferentes comprimentos (*multipath-channels*). Como versões múltiplas de um sinal interferem umas com as outras (*inter symbol interference (ISI)*), torna-se extremamente difícil extrair a informação original (VARGAS, 2004).

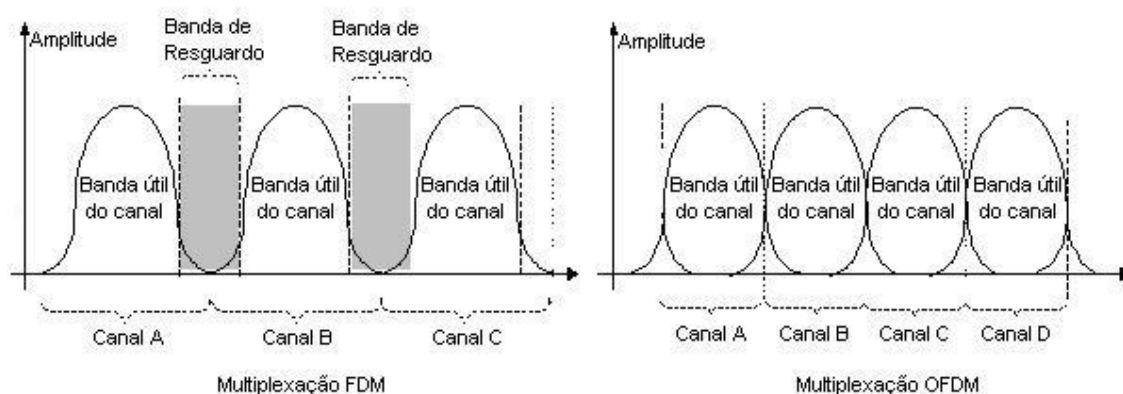


Figura 3.5: Divisão de canais segundo FDM e OFDM (DOURADO, 2004).

Esse tipo de modulação é muito utilizado também em outros sistemas de comunicação, já consolidados, como ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*), VDSL (*Very high bit-rate Digital Subscriber Line*), DAB (*Digital Áudio Broadcasting*) e DVB (*Digital Video Broadcast*). Assim, a modulação em OFDM garante a essas tecnologias, altas taxas de transmissão, excelente performance e confiabilidade.

Esse padrão de modulação garante uma melhor adequação à rede elétrica, pois, de acordo com o nível de ruído e frequência em que estes ruídos se encontram, esses equipamentos alternam o carregamento dos dados automaticamente entre várias portadoras, garantindo, assim, estabilidade de comunicação, mesmo sob condições de rede desfavoráveis.

Na figura 3.6 está um exemplo de como a modulação em OFDM pode se adequar às diversas condições da rede, em tempo real (DOURADO, 2004).

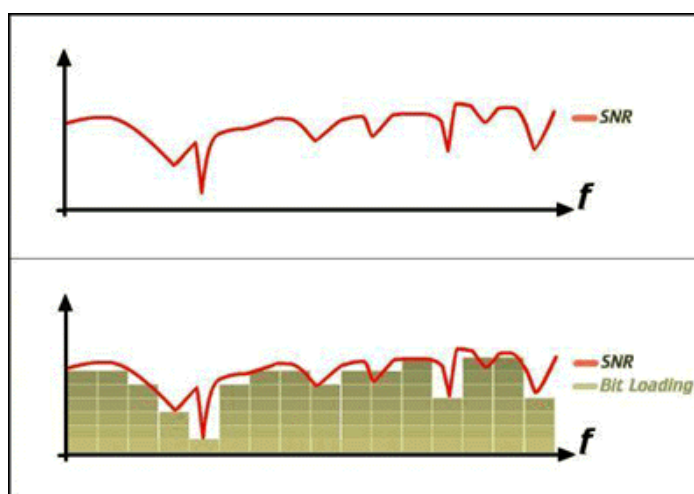


Figura 3.6 - Funcionamento da modulação OFDM (DOURADO, 2004).

Conforme o ruído se propaga por diversas frequências (SNR - *Signal-to-Noise Ratio*), os sinais são carregados e transmitidos (modulados) em várias frequências simultâneas, e em níveis de carregamento diferentes, aproveitando, desta forma, a melhor condição possível do *link* escolhido (figura 3.6).

### 3.6 Segurança

O *HomePlug* AV, usado no protótipo deste projeto, adota um sistema de segurança baseado na criptografia 128-bit AES (*Advanced Encryption Standard*) e suporta uma mudança automática das chaves criptográficas utilizadas.

Este padrão é também compatível com o *HomePlug* 1.0, além de oferecer diversas formas de operação e configuração de uma rede local que utilize dois dispositivos com padrões diferentes (*HomePlug* 1.0 e HPAV).

### 3.7 Regulamentação no Brasil

Em 21 de janeiro de 2009 a ANEEL divulgou a Nota Técnica número 0009/2009-SRD/ANEEL (ANEXO A), que tinha como objetivo analisar uma proposta de regulamentação da utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação de sinais e examinar as experiências de utilização ao redor do mundo, além de realizar o levantamento das diversas tecnologias disponíveis, seu uso e seus fornecedores e levantamento sobre os serviços comerciais possíveis de serem realizados com a tecnologia PLC.

A resolução normativa número 375, de 25 de agosto de 2009 (ANEXO B), regulamenta a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais. Essa resolução mostra as definições, abrangência, atribuições, responsabilidades e como devem ser as relações contratuais. As mais relacionadas com este projeto são:

Art. 4º O Prestador de Serviço de PLC pode utilizar as instalações de distribuição de energia elétrica para a transmissão analógica ou digital de sinais, e disponibilizar seus serviços de telecomunicações aos seus clientes, de acordo com as normas e padrões técnicos da distribuidora, o disposto nesta Resolução e

na regulamentação de serviços de telecomunicações e de uso de radiofrequências da Anatel.

Art. 5º A destinação do uso das instalações de distribuição de energia elétrica para o desenvolvimento das atividades comerciais, com o uso da tecnologia PLC, deve ser tratada de forma não discriminatória e a preços livremente negociados entre as partes.

Art. 6º A distribuidora deve disponibilizar suas instalações para o desenvolvimento de atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC, mediante solicitação formal de algum interessado, ou por interesse próprio.

Art. 7º A solicitação de uso das instalações de distribuição de energia elétrica, para o desenvolvimento das atividades comerciais, com o uso da tecnologia PLC, deve ser feita formalmente, por escrito, e conter as informações técnicas necessárias para a análise de viabilidade de disponibilização da infraestrutura, bem como o plano de implantação, a demonstração da capacidade de execução do referido plano e o valor a ser pago pelo contrato de uso comum.

Art. 10. O contrato de uso comum das instalações de distribuição com o Prestador de Serviço de PLC deve dispor sobre as condições gerais dos serviços a serem prestados, bem como as condições técnicas, operacionais, comerciais e responsabilidades mútuas a serem observadas.

Art. 11. Havendo necessidade de modificação ou adaptação das instalações da distribuidora, os custos decorrentes devem ser atribuídos ao Prestador de Serviço de PLC.

Art. 12. Os equipamentos a serem utilizados na composição do sistema de PLC que serão integrados às instalações de distribuição de energia elétrica devem obedecer à regulamentação específica da Anatel.



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, são apresentados os componentes usados na implementação do circuito isolado, proposto para a realização dos testes de transmissão de dados, bem como todos os recursos de *software* e *hardware* utilizados no projeto.

### 4.1 Planejamento dos experimentos

Para analisar a qualidade da transmissão em uma rede local, usando dispositivos PLC, foi montado um circuito elétrico isolado da rede comercial. Foram realizados quatro experimentos, para avaliar as taxas de transmissão, sob a malha elétrica em estudo, e os dados foram coletados com o auxílio de *softwares* medidores de tráfego.

### 4.2 Ambiente de testes

Os quatro experimentos foram realizados no circuito isolado, onde foram criadas situações distintas, que tinham por objetivo demonstrar a eficiência do PLC, transmitindo diferentes tipos de dados, levando em conta a distância entre os elementos comunicantes e a presença de uma carga elétrica geradora de ruídos.

### 4.3 Circuito isolado

O principal componente do circuito isolado é o transformador isolador, que é uma solução que satisfaz à exigência de segurança, para nível AC, pois os enrolamentos de um transformador não mantêm contato elétrico entre si, já que a transferência de energia se faz através de um campo magnético, sendo utilizado como um dispositivo isolador (figura 4.1).

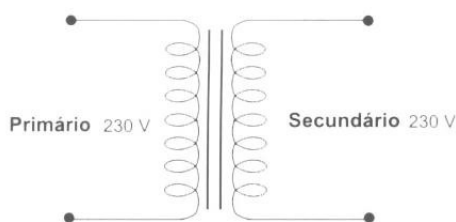


Figura 4.1: Enrolamentos de um transformador isolador.

(Fonte: O autor)

O circuito isolado foi construído para a realização dos testes sem a interferência de agentes externos. A figura 4.2 mostra o diagrama elétrico simplificado do circuito. Os componentes utilizados na construção do protótipo podem ser identificados na figura 4.3.

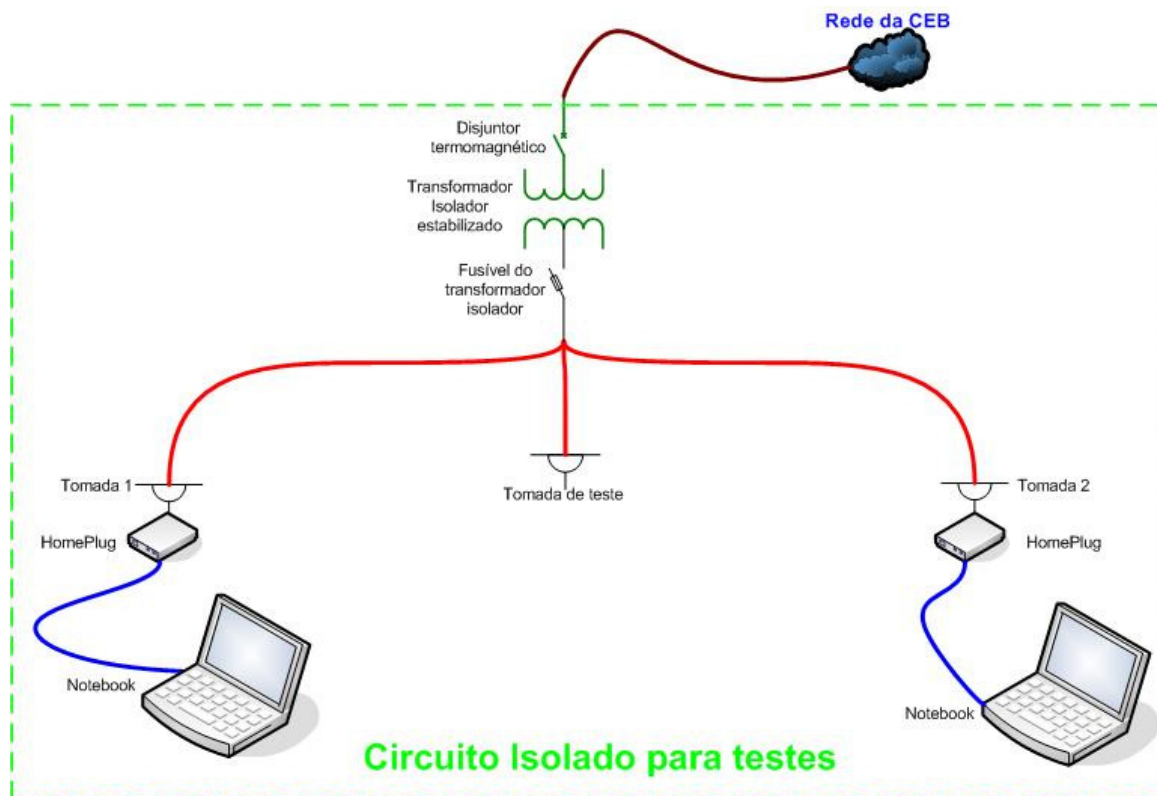


Figura 4.2: Diagrama elétrico do circuito isolado.

(Fonte: O autor)



Figura 4.3: Componentes do circuito isolado.

(Fonte: O autor)

- 01: Transformador isolador estabilizado, com potência máxima de 1.0 kVA (Tensão de entrada 220 Volts e tensão de saída 220 Volts).
- 02: Disjuntor termomagnético Siemens, de 10 Ampéres, para segurança do circuito, em caso de falhas.
- 03: Duas tomadas 2P+T, para a ligação dos *HomePlugs*.
- 04: Uma régua de tomadas, para ligar a fonte geradora de ruído e as fontes de alimentação dos *notebooks*.
- Duas extensões elétricas, de 25 metros, para aumentar a distância entre os *HomePlugs*.
- Ventilador comum, para a geração de interferências.

## 4.4 Hardware

Para os testes de conectividade foram utilizados os seguintes equipamentos:

- *Notebook 1* – Transmissor: Intel Pentium IV HT 2.8 GHz, 512 MB de memória RAM, HD ATA 80 GB 5400 RPM, Placa de rede com fio 10/100, Placa de rede sem fio G, Windows XP Professional SP-3.

- *Notebook 2* – Receptor: Intel Core 2 Duo T7200 2.0 GHz, 4 GB de memória RAM, HD SATA II 320 GB 7200 RPM, Placa de rede com fio 10/100, Placa de rede sem fio G, Windows XP Professional SP-3 (Os dados foram coletados nesse computador).

- Dois dispositivos *HomePlug*, padrão AV, modelo TP-Link TL-PA201 AV 200Mbps (figura 4.4).

- Cabo de rede crossover CAT5 de 3 metros.

- Cabos de rede CAT5 de tamanhos variados.



Figura 4.4: HomePlug TP-Link modelo TL-PA201.

## 4.5 Software

Os dados foram coletados por dois *softwares* livres, monitoradores de tráfego, o PLCTest e o NetWorx.

O PLCTest (figura 4.5) foi desenvolvido e é distribuído gratuitamente pela *Innovus Sistemas eletrônicos*. Esse *software* foi desenvolvido para a realização de testes de redes PLC, mas pode ser utilizado também em redes locais, pois mede o tráfego na interface de rede do computador, e trabalha realizando uma medição da taxa de transferência média do atual fluxo de dados, a cada 8192000 Bytes transmitidos, fornecendo, assim, valores discretos do estado atual da comunicação.

Este software deve ser instalado e configurado nos dois computadores.

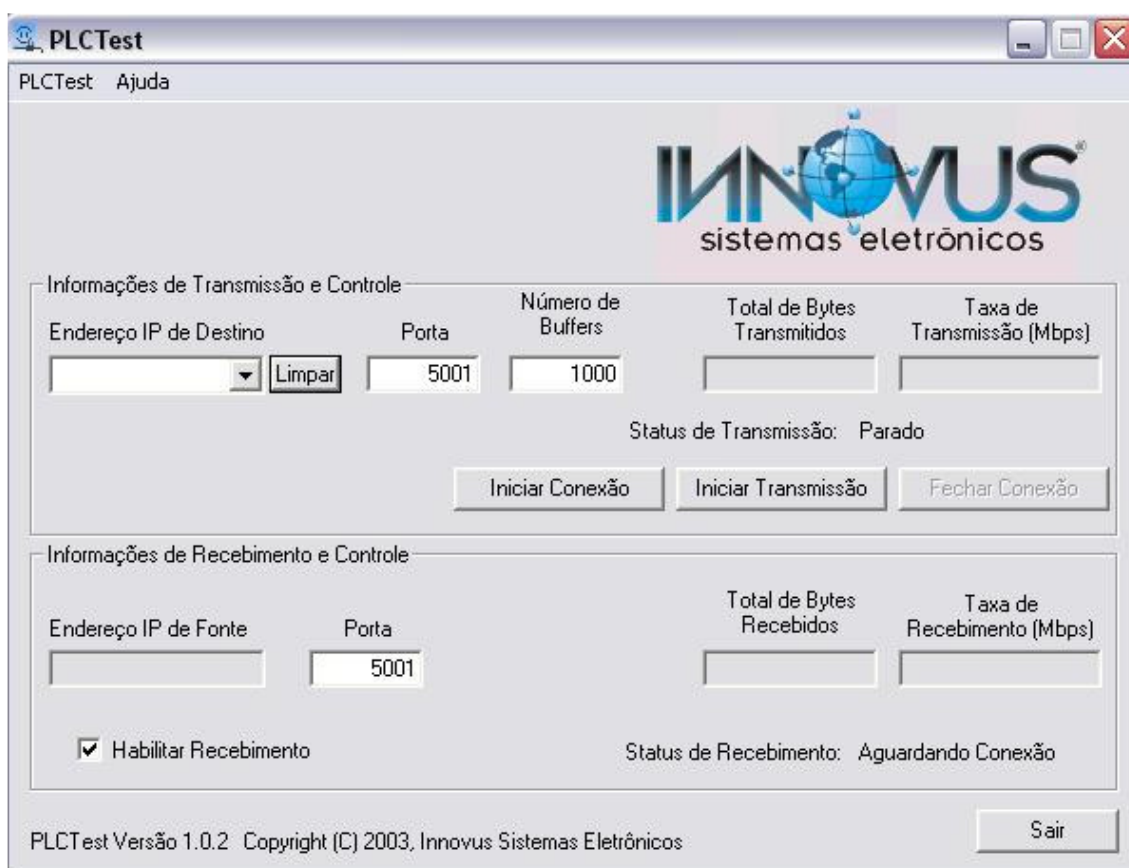


Figura 4.5: Tela inicial do software PLCTest.

O NetWorx é um *software* para medir a velocidade das conexões de rede, podendo monitorar todas as conexões simultaneamente, ou cada uma delas separadamente. Ele é capaz de gerar gráficos com os dados de *download* e *upload* (figura 4.6) em tempo real e mostrar os dados em um *display* numérico (figura 4.7).

Esse software precisa ser instalado apenas em um dos computadores; neste projeto foi instalado no notebook receptor.

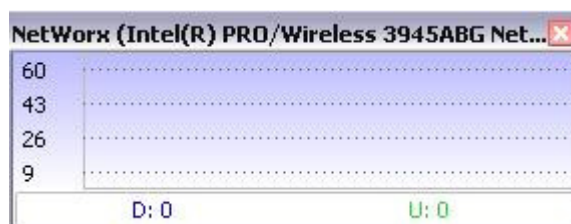


Figura 4.6: Gráfico do NetWorx.

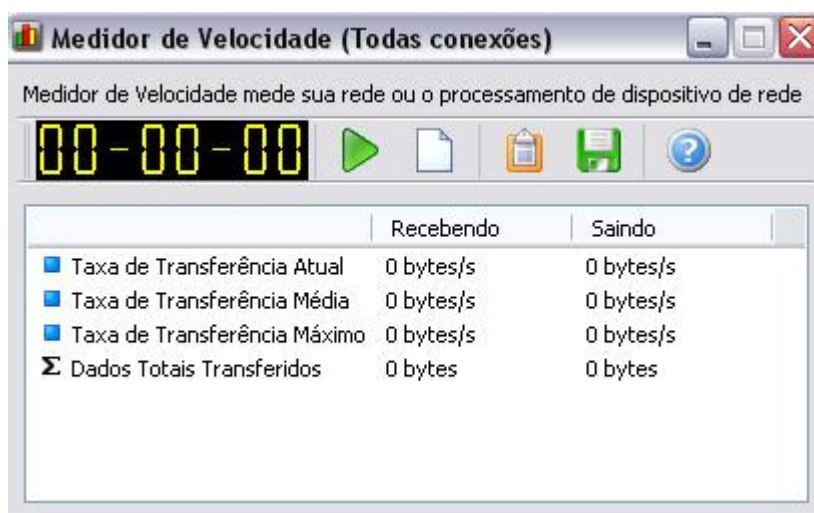


Figura 4.7: Display numérico do NetWorx.

## 5 APLICAÇÃO DOS TESTES COM RESULTADOS

Esta seção de testes e análise dos dados objetivou avaliar o desempenho de uma rede local, usando dispositivos *HomePlug AV*, em diferentes condições. Com os dados obtidos, foi possível fazer uma análise da eficiência da tecnologia PLC e uma comparação com os padrões FastEthernet e Wireless G.

### 5.1 Testes com HomePlug

A avaliação experimental visou à análise do funcionamento e eficiência do sistema de controle PLC, em operação real. Nos quatro testes, foi utilizado um arquivo único, de 560 MB.

#### 5.1.1 Primeiro teste – Transferência de dados, em condições ideais

Este experimento visou medir a taxa de transferência, em condições ideais, onde os *HomePlugs* foram ligados na mesma régua de tomadas, sem interferências de agentes externos e com distância elétrica praticamente nula.

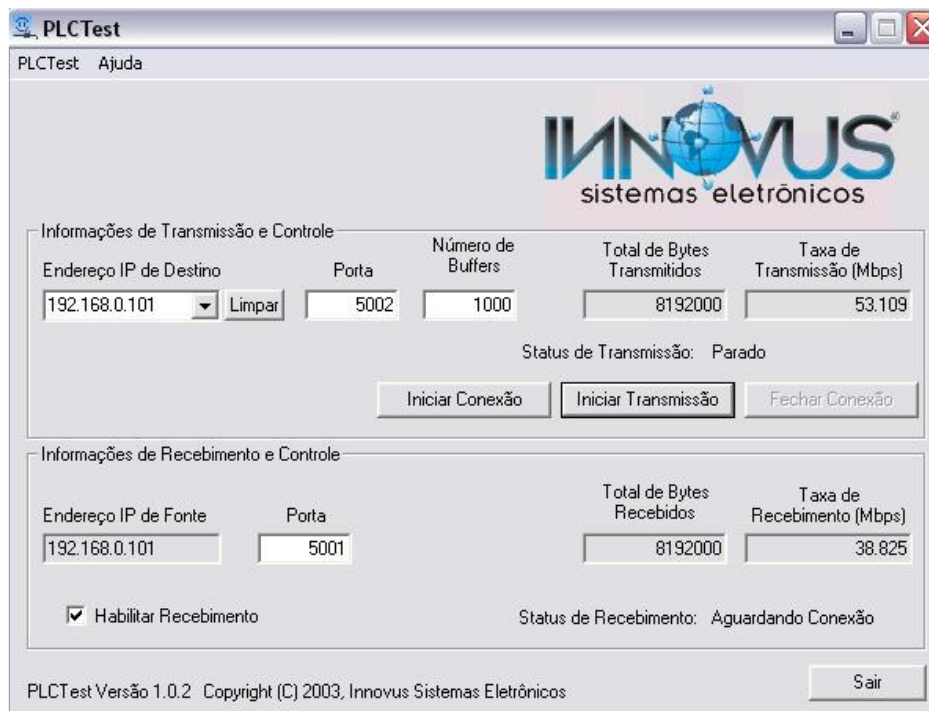


Figura 5.1: PLCTest com HomePlugs próximos.



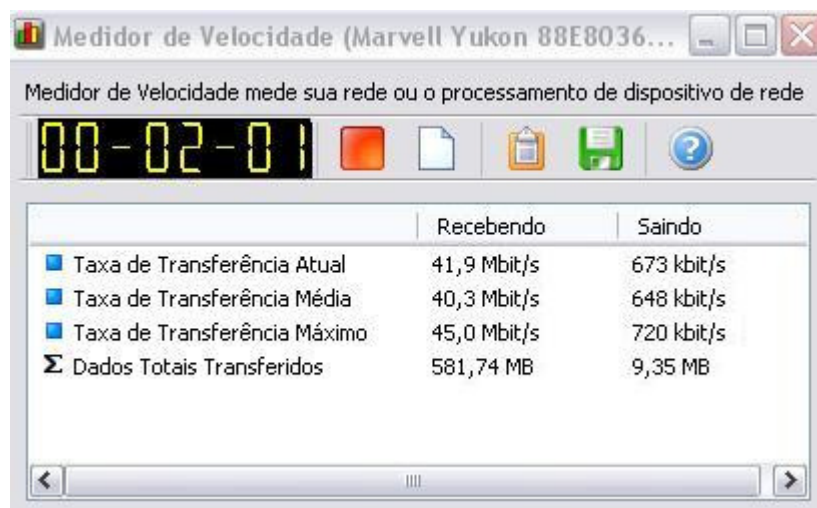


Figura 5.2: Display NetWorx com HomePlugs próximos.

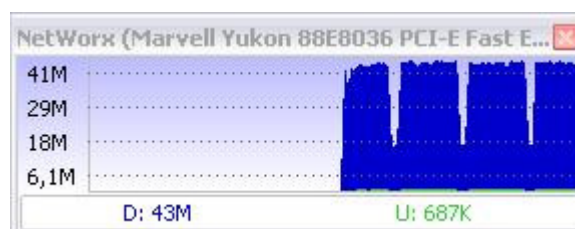


Figura 5.3: Gráfico NetWorx com HomePlugs próximos.

#### 5.1.1.1 Análise do primeiro experimento

Os dados coletados neste experimento servem como referência para os demais testes, devido às condições ideais de transmissão. O *software* PLCTest não detectou perda de pacotes (figura 5.1), porém as taxas de transmissão e de recebimento têm valores sensivelmente distantes.

O software NetWorx detectou picos de até 45 Mbps, mas a velocidade média ficou em 40,3 Mbps (Figura 5.2), valor bem abaixo do nominal.

#### 5.1.2 Segundo teste – Fator distância

Neste experimento foi observado o fator atenuação por distância, onde extensões elétricas comuns de 25 metros foram colocadas em cada tomada, simulando, assim, o aumento da distância elétrica em mais 50 metros entre os *HomePlugs*.



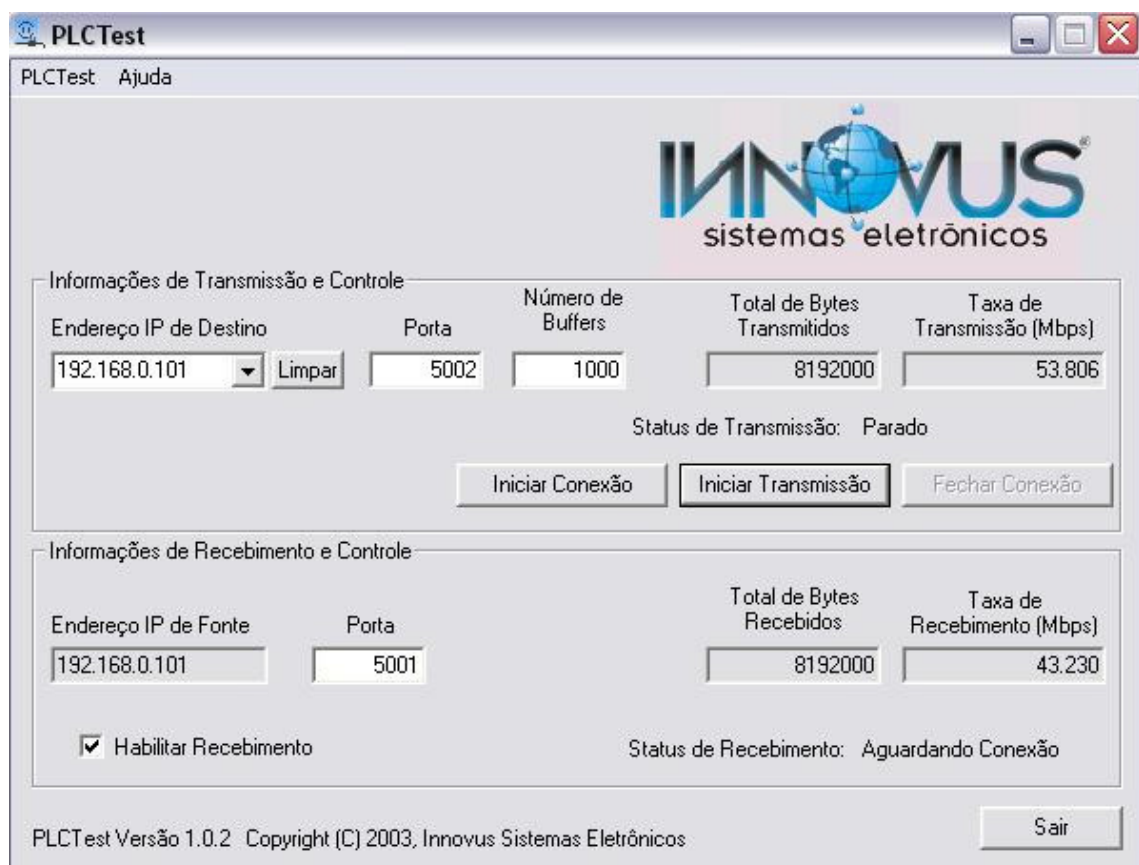


Figura 5.4: PLCTest com HomePlugs a 50 metros.



Figura 5.5: Display NetWorx com HomePlugs a 50 metros.

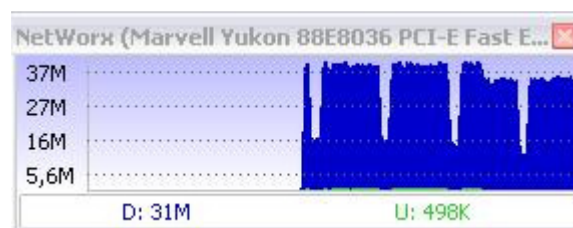


Figura 5.6: Gráfico NetWorx com HomePlugs a 50 metros.

### 5.1.2.1 Análise do segundo experimento

Um fator importante na avaliação de um sistema de comunicação de dados é a distância máxima em que se garante a qualidade da comunicação do sistema. No caso deste trabalho, o mais importante era verificar, em primeiro lugar, se os *HomePlugs* conseguiriam se comunicar em um ambiente, cujas tomadas elétricas fossem distantes umas das outras.

Houve uma queda de 15% na taxa de transferência média (figura 5.5), em relação às condições ideais (figura 5.2). Esse valor é baixo, considerando a distância de 50 metros, principalmente se for comparado à comunicação de redes sem fio.

O *software* PLCTest registrou uma taxa de recebimento ligeiramente maior e a taxa de transmissão manteve-se constante.

### 5.1.3 Terceiro teste – Interferência por eletrodoméstico

Neste teste, foi inserido um ventilador, para a geração de ruídos no sistema. Motores desse tipo de eletrodomésticos, bem como de furadeiras, liquidificadores e enceradeiras, são responsáveis por grande parte dos ruídos em uma rede *indoor*.

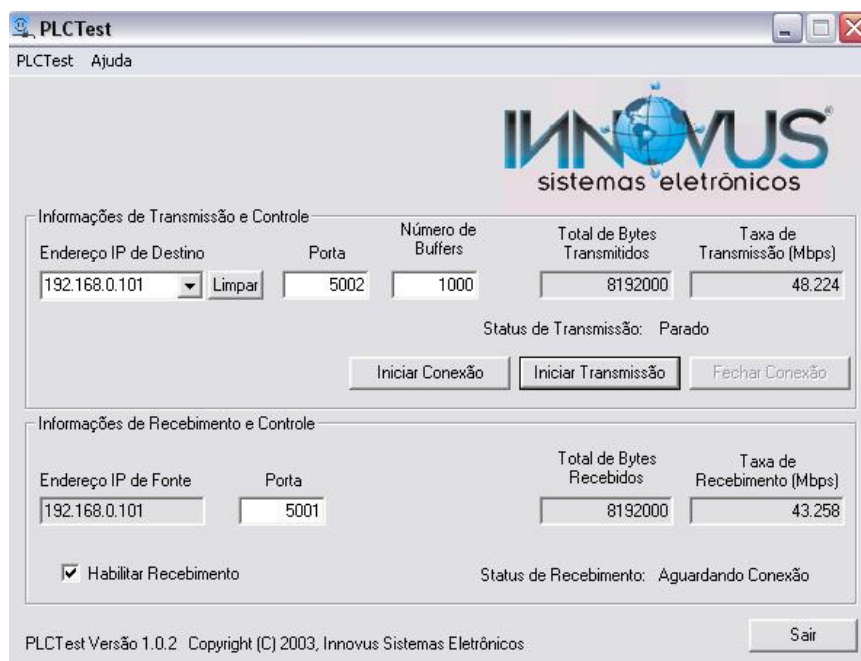


Figura 5.7: PLCTest com interferência entre os HomePlugs.



Figura 5.8: Display NetWorx com interferência entre os HomePlugs.

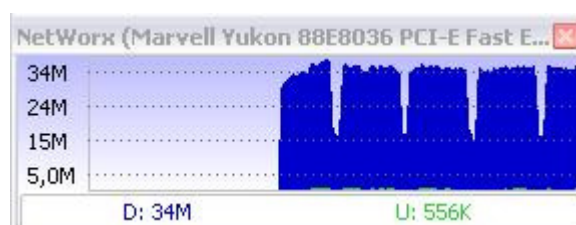


Figura 5.9: Gráfico NetWorx com interferência entre os HomePlugs.

#### 5.1.3.1 Análise do terceiro experimento

Segundo a leitura do *software* NetWorx, houve uma queda de 21% (figura 5.8), em relação às condições ideais. O que demonstra que os ruídos eletromagnéticos gerados por outros dispositivos, conectados à malha, ainda são o principal obstáculo da transmissão de dados pela rede elétrica.

As taxas de recebimento (figura 5.7) mantiveram-se equivalentes às taxas do segundo experimento e as taxas de transmissão (figura 5.7) perderam quase 5 Mbps, se comparadas às condições ideais.

#### 5.1.4 Quarto teste – Diferentes tipos de arquivos

Este experimento analisou o tráfego de pacotes de dados de mesmo tamanho, mas de conteúdos diferentes. Além do arquivo utilizado nos testes anteriores, foi analisada a transferência de uma pasta com os mesmos 560 MB de tamanho, porém, contendo 286 arquivos variados de áudio, vídeo e texto.

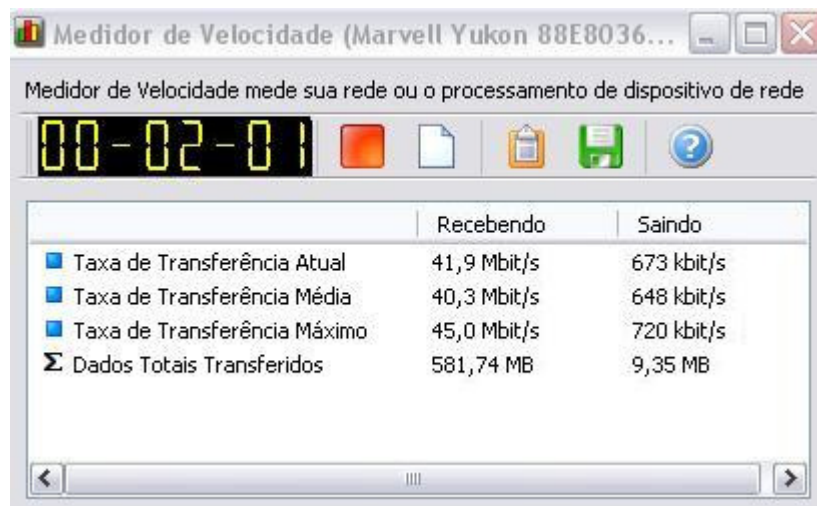


Figura 5.10: Display NetWorx – Arquivo único.



Figura 5.11: Display NetWorx – Pacote com vários arquivos.

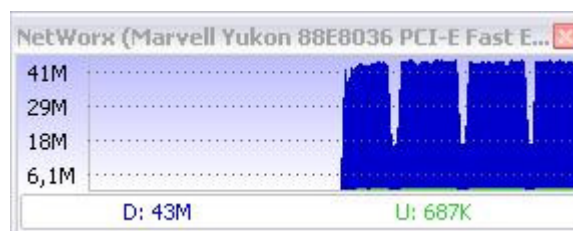


Figura 5.12: Gráfico NetWorx – Arquivo único.

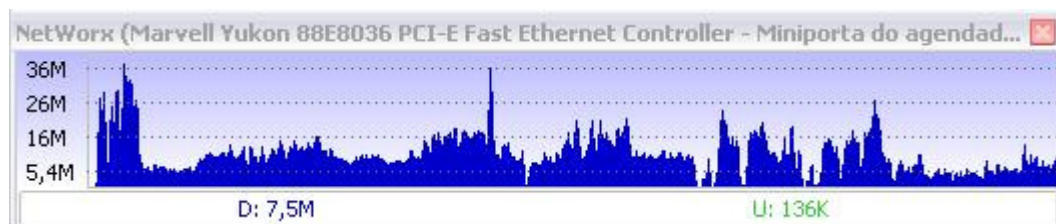


Figura 5.13: Gráfico NetWorx – Pacote com vários arquivos.

#### 5.1.4.1 Análise do quarto experimento

Mesmo não havendo perda de pacotes, a velocidade e o tempo de transmissão foram quatro vezes menores do que nas condições ideais. Essa queda está relacionada aos cabeçalhos de cada um dos arquivos, que têm que ser lidos individualmente, durante a transmissão, perdendo desempenho, se comparado ao arquivo único, que possui apenas um cabeçalho de identificação.

### 5.2 Comparativo com a rede FastEthernet

The screenshot shows the PLCTest application window. At the top, there's a title bar with 'PLCTest' and standard window controls. Below the title bar is a menu bar with 'PLCTest' and 'Ajuda'. The main area features the 'INNOVUS sistemas eletrônicos' logo. The window is divided into two main sections: 'Informações de Transmissão e Controle' and 'Informações de Recebimento e Controle'. The transmission section includes fields for 'Endereço IP de Destino' (192.168.0.101), 'Porta' (5002), 'Número de Buffers' (1000), 'Total de Bytes Transmitidos' (8192000), and 'Taxa de Transmissão (Mbps)' (49.913). It also shows 'Status de Transmissão: Parado' and buttons for 'Iniciar Conexão', 'Iniciar Transmissão', and 'Fechar Conexão'. The reception section includes fields for 'Endereço IP de Fonte' (192.168.0.101), 'Porta' (5001), 'Total de Bytes Recebidos' (8192000), and 'Taxa de Recebimento (Mbps)' (43.691). It also shows 'Status de Recebimento: Aguardando Conexão' and a checkbox for 'Habilitar Recebimento' which is checked. At the bottom, there's a footer with 'PLCTest Versão 1.0.2 Copyright (C) 2003, Innovus Sistemas Eletrônicos' and a 'Sair' button.

Informações de Transmissão e Controle			
Endereço IP de Destino	Porta	Número de Buffers	Total de Bytes Transmitidos
192.168.0.101	5002	1000	8192000
			Taxa de Transmissão (Mbps): 49.913
Status de Transmissão: Parado			
<button>Iniciar Conexão</button> <button>Iniciar Transmissão</button> <button>Fechar Conexão</button>			

Informações de Recebimento e Controle			
Endereço IP de Fonte	Porta	Total de Bytes Recebidos	Taxa de Recebimento (Mbps)
192.168.0.101	5001	8192000	43.691
<input checked="" type="checkbox"/> Habilitar Recebimento		Status de Recebimento: Aguardando Conexão	

PLCTest Versão 1.0.2 Copyright (C) 2003, Innovus Sistemas Eletrônicos Sair

Figura 5.14: PLCTest – Rede FastEthernet.



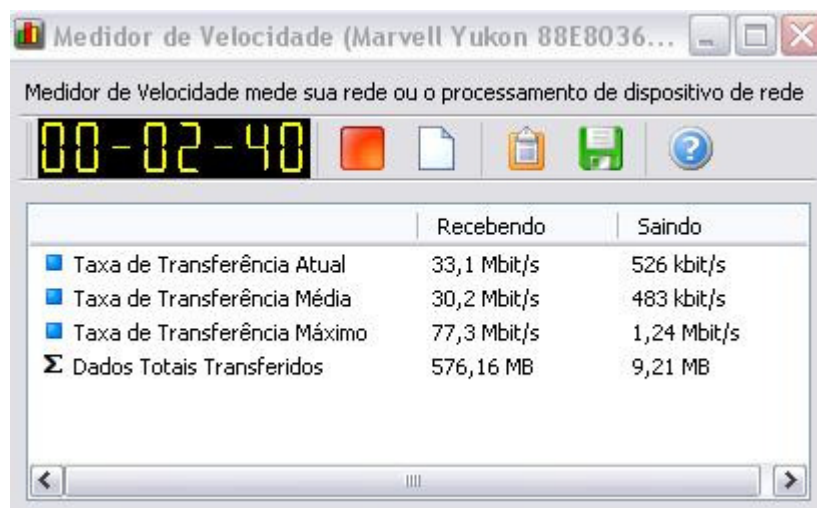


Figura 5.15: Display NetWorx – Rede FastEthernet.

Apesar do pico de transferência máxima ser 58% maior que o registrado na tecnologia PLC, a taxa de transferência média da rede FastEthernet foi 10% inferior. O tempo total da transferência, usando FastEthernet, foi 39 segundos mais demorado do que usando PLC, comparando as figuras 5.2 e 5.15.

### 5.3 Comparativo com a rede Wireless G

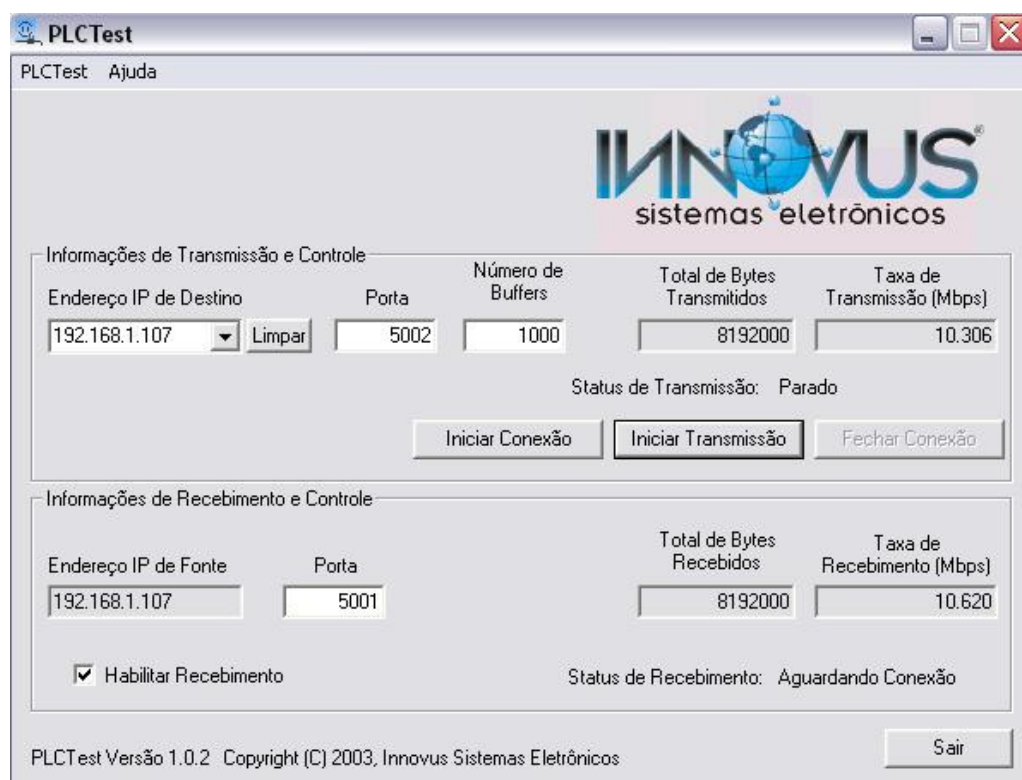


Figura 5.16: PLCTest – Rede Wireless G.



Figura 5.17: Display NetWorx – Rede Wireless G.

Com taxas de transmissão que não representam nem 25% dos valores obtidos usando PLC, a rede Wireless teve o pior desempenho entre as três tecnologias (figura 5.17). O tempo total de transmissão foi quatro vezes maior do que o medido no PLC.

#### 5.4 Custos de instalação

A figura a seguir detalha os custos relativos à instalação de uma rede local, com a utilização dos três meios de comunicação vistos neste trabalho (PLC, cabo UTP, Wireless).

Dispositivos e Materiais	CUSTOS DE INSTALAÇÃO								
	Cabo UTP			Wireless			PLC		
	Quant.	Custo (R\$)		Quant.	Custo (R\$)		Quant.	Custo (R\$)	
		Unitário	Total		Unitário	Total		Unitário	Total
Roteador	1	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00	130,00
Adaptador de Rede Wireless	-	70,00	-	2	70,00	140,00	-	70,00	-
Cabos UTP ( m )	36	1,90	68,40	-	1,90	-	6	1,90	11,40
Adaptador HomePlug	-	96,00	-	-	96,00	-	2	96,00	192,00
Materiais e Mão-de-Obra	-	270,00	270,00	-	-	-	-	-	-
CUSTO TOTAL ( R\$ )			468,40			270,00			333,40

Figura 5.18: Custo de instalação de uma rede local, com três tecnologias (JOANITTI, 2008).

Na instalação de uma rede local, a tecnologia *wireless* teve o menor custo dentre as três (figura 5.18).

A integração das tecnologias Wireless e PLC é uma alternativa bastante interessante, já que o sinal poderia chegar aos locais mais remotos via PLC, e ali ser distribuído para vários usuários, com tecnologia sem fio. Esse tipo de aplicação já é possível, através da utilização de *HomePlugs* que possuem um dispositivo *wireless*, para comunicação com os usuários.



## 6 CONCLUSÃO

O PLC é uma tecnologia que tende a crescer rapidamente no Brasil, pois possui uma vantagem fundamental sobre as demais tecnologias de transmissão, que é o cabeamento já instalado e com grande capilaridade, sendo essa uma alternativa para levar dados em alta velocidade a comunidades isoladas, promovendo, assim, a inclusão digital dos moradores de áreas remotas.

Este trabalho teve por objetivo a realização de uma avaliação técnica da utilização da rede elétrica como canal de comunicação, em ambientes *indoor*. É uma tecnologia recente, que foi homologada no Brasil em 2009, e ainda é objeto de estudo no mundo inteiro.

A integração da tecnologia PLC com *Wireless* e *FastEthernet* é uma alternativa bastante interessante, já que o sinal poderia chegar aos locais mais remotos, via PLC, e ali ser distribuído com tecnologia sem fio e cabeada.

O avanço das técnicas de modulação tende a aumentar as taxas de transmissão, superando os problemas apresentados pelo meio, tornando essa tecnologia ainda mais atraente.

O protótipo construído obteve resultados satisfatórios, para a realização dos testes de transmissão, demonstrando, pelos dados colhidos, que a tecnologia PLC tem taxas de transmissão e recebimento maiores do que os padrões mais usados no Brasil (*FastEthernet* e *Wireless G*).

Por se tratar de uma tecnologia relativamente recente no Brasil, a aquisição dos *HomePlugs* foi um grande obstáculo para a realização desse projeto. Achar softwares livres capazes de realizar as medições e gerar gráficos em tempo real também foi uma grande dificuldade na medição dos experimentos.

A importância deste trabalho se deve à atualidade do tema e, principalmente, ao grande número de aplicações que a tecnologia pode proporcionar. A complexidade e o escopo do tema podem inspirar vários outros projetos acadêmicos.

Para o futuro, seria interessante realizar testes e medições com *HomePlugs* AV ligados a placas de rede Gigabit Ethernet, para verificar se as taxas de transmissão e recebimento se aproximam dos valores nominais de 200 Mbps.

## BIBLIOGRAFIA

ABRANTES, TALITA. A Web em 110 Volts. Revista INFO EXAME, São Paulo, Outubro, n.284, p.74-76, 2009

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/hotsite/plc>>

Acessado em: 10 de outubro de 2009.

DOURADO, Alexandre Dourado. Acopladores em sistemas de comunicação de dados pela rede elétrica. 2004. Trabalho final de graduação (Graduação em engenharia da computação) – FAET – Faculdade de ciências exatas e tecnologia, UniCEUB.

DUQUE, C. A., Transmissão de dados em redes elétricas. Juiz de Fora, MG, 2001. Relatório Técnico. UFJF Home Page. Disponível em:

<<http://www.ufjf.br/ppee/producao-cientifica/congressos/c2001/transmissao-de-dados-em-redes-eletricas/>>.

Acessado em: 03/06/2009.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS – Medidor eletrônico digital.

Hypertrade Telecom. Disponível em:

<[http://www.hypertrade.com.br/arqsist/especificacoes\\_amr.pdf](http://www.hypertrade.com.br/arqsist/especificacoes_amr.pdf)>

Acessado em: 30 de outubro de 2009.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS – HomePlug

TP-Link. Disponível em:

<[http://www.tp-link.com/products/product\\_des.asp?id=184](http://www.tp-link.com/products/product_des.asp?id=184)>

Acessado em: 1 de novembro de 2009.

HAYKIN, S. Sistemas de Comunicação: Analógicos e Digitais. 4ª. Edição. Editora Bookman, 2004.

HOMEPLUG – PowerLine Alliance

Disponível em:

<<http://www.homeplug.org/products/whitepapers>>

Acessado em: 5 de novembro de 2009.

INNOVUS SISTEMAS ELETRÔNICOS – Software PLCTest

Disponível em:

<<http://www.innovus.com.br/downloads.php>>

Acessado em: 5 de novembro de 2009.

JOANITTI, Emmanuel Luis Anselmo. PLC Estudo da tecnologia PowerLine Communication e implementação de um sistema indoor. 2008. Relatório submetido como requisito parcial para obtenção do grau de engenheiro eletricista. Departamento de engenharia elétrica – UnB.

OPERA, Open PLC European Research Alliance.

Disponível em:

<<http://www.istopera.org/>>.

Acessado em: 07 de setembro de 2009.

NETO, V. S., Telecomunicações: Sistemas de Modulação. 1ª. Edição. Editora Érica, 2005.

PINHO, Roberto Roma. Comunicação de dados através rede elétrica aplicado à automação residencial e predial: Hardware. 2005. Trabalho de formatura apresentado à Faculdade de Engenharia de Sorocaba - FACENS, como parte dos pré-requisitos para a obtenção do título de Engenheiro de Computação.

SILVA, Jair Adriano Lima. Análise de desempenho de um sistema COFDM para comunicação via rede elétrica. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) -

Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo.

SOFTPERFECT – Software NetWorx

Disponível em:

<<http://www.softperfect.com/products/networx>>

Acessado em: 5 de novembro de 2009

TAVEIRA, Danilo M. Redes PLC: Redes de Computadores I. GTA/UFRJ: Grupo de Teleinformática e Automação/Universidade Federal do Rio de Janeiro, maio 2004. Disponível em:

<[http://www.gta.ufrj.br/grad/04\\_1/redesplc](http://www.gta.ufrj.br/grad/04_1/redesplc)>.

Acessado em: 06 de outubro de 2009.

VARGAS, Alessandra Antunes. Estudo sobre Comunicação de Dados via Rede Elétrica para Aplicações de Automação Residencial/Predial. 2004. Monografia (Graduação em Engenharia de Computação) - Faculdade de Engenharia da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

White Paper on Power Line Communications (PLC) 2004, PLC Utilities Alliance (PUA).

Arthur D. Little, firma de consultoria. Disponível em:

<[www.pua-plc.com/files/upload/041021\\_\\_Whitepaper\\_PLC\\_2004.pdf](http://www.pua-plc.com/files/upload/041021__Whitepaper_PLC_2004.pdf)>

Acessado em: 5 de Setembro de 2009.

## **ANEXO A**

**Nota Técnica nº 0092009-SRD/ANEEL**

Nota Técnica nº 0009/2009-SRD/ANEEL

Em 21 de janeiro de 2009.

Processo: 48500.000370/2009-89

Assunto: Proposta de regulamentação da utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação de sinais.

## I. DOS OBJETIVOS

Subsidiar a Diretoria Colegiada da ANEEL na análise da proposta de regulamentação da utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação de sinais.

2. Solicitar instauração do processo de Audiência Pública para recebimento de contribuições e consequente aperfeiçoamento das disposições presentes na minuta de resolução.

## II. DOS FATOS

3. A Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica, instituiu a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, assim como a Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997, que dispõe sobre a organização dos serviços de telecomunicações criou a Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL.

4. O art. 73 da Lei nº 9.472/97 faculta às prestadoras de serviços de telecomunicações de interesse coletivo o direito à utilização de postes, dutos, condutos e servidões pertencentes ou controladas por prestadoras de serviços de telecomunicações e de energia elétrica, de forma não discriminatória e a preços e condições justos e razoáveis, atribuindo às agências reguladoras a competência para definir as condições para o compartilhamento de infra-estrutura.

5. Com o objetivo de atender a determinação contida no art. 73, da Lei nº 9.472/97 foi publicada a Resolução Conjunta ANEEL/ANATEL/ANP nº 001/99, que aprova o regulamento que fixa as diretrizes para o compartilhamento de infra-estrutura entre os setores de energia elétrica, telecomunicações e petróleo.

\* A Nota Técnica é um documento emitido pelas Unidades Organizacionais e destina-se a subsidiar as decisões da Agência.

Fl. 2 da Nota Técnica nº 0009/2009–SRD/ANEEL, de 21/01/2009

6. A Resolução Conjunta nº 001/99 regulamenta os procedimentos para a celebração de contratos entre pessoas jurídicas de setores diferentes, detentoras de concessão, autorização ou permissão, cuja outorga lhes foi concedida visando à exploração de serviços públicos de energia elétrica, ou de serviços de telecomunicações ou de serviços de transporte dutoviário de petróleo, seus derivados e gás natural, tendo como objeto o compartilhamento de infra-estrutura, excedente, disponibilizada por uma delas à outra, porém mantendo-a sob seu controle e gestão como estipulado em seu contrato de concessão, permissão ou autorização.

7. Como é da competência da ANEEL a definição das condições de utilização de infra-estrutura controlada, direta ou indiretamente, pelos agentes que exploram os serviços públicos de energia elétrica, competiu à Agência Nacional de Energia Elétrica regulamentar os requisitos mínimos aplicáveis ao cumprimento do disposto no Art. 5º, do Regulamento Conjunto para Compartilhamento de Infra-Estrutura entre os Setores de Energia Elétrica, Telecomunicações e Petróleo, anexo à Resolução Conjunta ANEEL/ANATEL/ANP nº 001, de 24/11/1999, resultando na publicação da Resolução nº 581, de 29 de outubro de 2002.

8. Especificamente sobre o sistema de telecomunicações que utiliza a rede elétrica como meio de transporte para a comunicação digital etou analógica de sinais, conhecido como *Power Line Communications – PLC* (ou, *Broadband over Power Line – BPL*), a exemplo do ocorrido nos Estados Unidos com a Federal Energy Regulatory Commission - FERC e a Federal Communications Commission - FCC, a regulamentação dessa tecnologia deve ser realizada pelas agências reguladoras dos setores de energia e de telecomunicações.

9. Com isso, no Brasil, itens relativos às emissões de radiações indesejadas, interferência e padrões estão sendo regulamentados pela ANATEL. Nessa linha, em agosto de 2008, a ANATEL colocou em debate, por meio da Consulta Pública nº 38, de 25 de agosto de 2008, a proposta de regulamento sobre Condições de Uso do Sistema de Acesso em Banda Larga utilizando Rede de Energia Elétrica – BPL.

10. Com relação às atividades já desenvolvidas pela ANEEL, em dezembro de 2006, após processo licitatório, a Agência realizou a contratação de especialistas com objetivo de realizar estudos sobre PLC e verificar a necessidade da elaboração de regulamento específico sobre o emprego comercial da tecnologia. Assim, conforme consta no processo 48500.003882/2005-57, foi assinado contrato com a Fundação de Apoio e Desenvolvimento ao Ensino, Pesquisa e Extensão - FADEPE da Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF.

11. O objetivo da contratação era examinar aspectos sobre a regulamentação e experiências de utilização ao redor do mundo, além de realizar o levantamento das diversas tecnologias disponíveis, seu uso e seus fornecedores e levantamento sobre os serviços comerciais possíveis de serem realizados com a tecnologia PLC.

12. Em maio de 2007, ainda no âmbito da contratação supracitada, a ANEEL e a FADEPE/UFJF promoveram, em Brasília-DF, um workshop internacional sobre PLC para incentivar o debate do tema. Nesse

\* A Nota Técnica é um documento emitido pelas Unidades Organizacionais e destina-se a subsidiar as decisões da Agência.

Fl. 3 da Nota Técnica nº 0009/2009–SRD/ANEEL, de 21/01/2009

evento, além de palestrantes nacionais, estiveram presentes um palestrante da Alemanha (University Of Karlsruhe) e um dos Estados Unidos (Panasonic).

13. No mundo, noticia-se que experiências com o uso dessa tecnologia estão sendo bem sucedidas, propiciando iniciativas comerciais em alguns países. Os testes se iniciaram na Europa e existem múltiplos esforços para implantação de PLC nos Estados Unidos. Nesse sentido, destaca-se que, em setembro de 2003, a Espanha autorizou a exploração comercial de sistemas de acesso com tecnologia PLC e a Iberdrola e Endesa, duas das maiores empresas elétricas espanholas, entraram neste mercado.

14. Diferentes distribuidoras brasileiras realizaram testes com PLC, utilizando equipamentos de diversos fabricantes. Copel, Eletropaulo, Cemig, Escelsa, Celg e Light são algumas das empresas que já passaram pelo estágio de testes e estão estudando os aspectos de implantação em operações comerciais. A utilização de PLC focada para as atividades próprias faz parte do conjunto de aplicações desta tecnologia.

### III. DA ANÁLISE

15. O PLC é um sistema de telecomunicações que utiliza a rede elétrica como meio de transporte para o fornecimento de sinais tais como: internet, vídeo, voz, entre outros, caracterizando-se como outra forma de compartilhamento de infra-estrutura. Nesse caso, um ponto de energia pode se tornar uma tomada para ligação de qualquer eletrodoméstico e, ao mesmo tempo, um ponto de rede de dados. O consumidor, além de ser atendido com energia elétrica pode ter acesso, pelos mesmos fios, a um provedor de internet ou a uma TV por assinatura, por exemplo.

16. O uso comum da rede elétrica por esta tecnologia PLC, cuja aplicação vem crescendo no mundo, impõe certas regras de convivência que até então não eram consideradas na regulamentação vigente do setor elétrico.

17. Apesar da utilização do mesmo meio físico, que são as redes de energia elétrica, o PLC propicia usos independentes, que podem conviver simultaneamente. Portanto, cada serviço corresponde a um custo e devem ser faturados separadamente.

18. Não necessitando expandir a infra-estrutura existente das empresas de energia elétrica para a introdução de novos usos, como é o caso do PLC, evidentemente, isto, por si só, já representa ganhos nos custos operacionais dessas empresas. Em princípio, devido à economia, simplesmente, pelo acréscimo de funções da infra-estrutura já existente, essa nova tecnologia pode significar menores custos aos consumidores. Com isso, ressalta-se que as redes de energia elétrica não são modificadas para a introdução dessa tecnologia. Somente novos componentes são acoplados e, praticamente, passam despercebidos pela população.

19. Nesse sentido, os consumidores de energia elétrica seriam beneficiados com os lucros adicionais que a distribuidora poderia obter com a cessão de suas instalações, refletindo, obrigatoriamente,

Fl. 4 da Nota Técnica nº 0009/2009–SRD/ANEEL, de 21/01/2009

na modicidade tarifária. Os consumidores de telecomunicações certamente serão beneficiados com a redução dos custos da infra-estrutura que não precisa ser implantada.

20. Um sistema PLC, para funcionar, necessita de equipamentos que serão acoplados às redes de energia elétrica existente, mas podem provocar interferências em outros equipamentos que utilizam radiofrequência como, receptores de rádio, rádios amadores, telefones sem fio e, em alguns casos, até em televisores. Em razão disso, a ANATEL, responsável pelo controle e uso de radiofrequências, busca estabelecer regras para que o possível uso do PLC via rede elétrica não cause interferências indesejadas nos sistemas de telecomunicações.

21. A regulamentação da ANATEL relativa às interferências indesejadas que podem advir do PLC e da ANEEL, no que tange à qualidade da energia elétrica, deverá zelar por essas questões de qualidade, de tal forma que os consumidores sejam protegidos contra as anomalias que porventura o PLC possa introduzir quando utilizado.

22. Na condição de órgão regulador dos serviços de energia elétrica, a ANEEL tem como objetivo precípua organizar a exploração dos serviços inerentes a sua esfera de atuação, exercendo o poder regulador e fiscalizador. Na regulamentação do PLC, a ANEEL deve analisar as possibilidades e limitações do uso da rede de distribuição de energia elétrica para comunicação, baseando-se nos aspectos da prestação do serviço de distribuição. Assim, o foco da regulação deve ser direcionado para garantir aos aspectos de qualidade, confiabilidade, gerando incentivo econômico ao compartilhamento e modicidade tarifária.

23. Dessa forma, destaca-se que a minuta de resolução com proposta de regulamentação pretende disciplinar aspectos mínimos sobre o uso da tecnologia PLC, apresentando atribuições e responsabilidades sobre o tema, além de determinar critérios com objetivo de regulamentar as relações contratuais envolvidas.

24. Como a energia elétrica tem uma maior penetração do que os serviços de telecomunicação, os mentores dessa tecnologia advogam a tese de que, com a utilização da rede de energia elétrica, é possível alcançar a realidade da inclusão digital, entre outros benefícios.

25. Destaca-se que além dos serviços de internet banda larga, voz e vídeo para os consumidores, o PLC permite que as distribuidoras de energia elétrica possam incorporar serviços como: telemedicação, supervisão do fornecimento e da qualidade da energia, controle das perdas técnicas e comerciais, monitoração remota de suas redes de distribuição, podendo resultar, inclusive, em menores investimentos na geração de energia.

26. Especificamente sobre a telemedicação, ressalta-se que a ANEEL já desenvolve atividades e estudos sobre a utilização de medidores eletrônicos em baixa tensão, tendo em vista a crescente tendência de aplicação desses equipamentos. Com a difusão da aplicação de medidores eletrônicos, a utilização da tecnologia PLC se apresenta como um complemento, potencializando funcionalidades antes não disponíveis,

\* A Nota Técnica é um documento emitido pelas Unidades Organizacionais e destina-se a subsidiar as decisões da Agência.



Fl. 5 da Nota Técnica nº 0009/2009–SRD/ANEEL, de 21/01/2009

tais como leitura remota de medidores, corte e religamento à distância e demais itens relacionados à aquisição, à atuação e à parametrização remota.

#### IV. DO FUNDAMENTO LEGAL

27. A Lei nº. 9.427, de 26 de dezembro de 1996, responsável por instituir a ANEEL, estabelece, em seu artigo 2º, que a finalidade da Agência é regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal.

28. O artigo 4º, do anexo do Decreto nº. 2.335, de 06 outubro de 1997, estabelece, nos seguintes incisos, que à ANEEL compete:

*"III - propor os ajustes e as modificações na legislação necessários à modernização do ambiente institucional de sua atuação;"*

*"IV - regular os serviços de energia elétrica, expedindo os atos necessários ao cumprimento das normas estabelecidas pela legislação em vigor;"*

*"VII - aprovar metodologias e procedimentos para otimização da operação dos sistemas interligados e isolados, para acesso aos sistemas de transmissão e distribuição e para comercialização de energia elétrica;"*

*"XVI - estimular a melhoria do serviço prestado e zelar, direta e indiretamente, pela sua boa qualidade, observado, no que couber, o disposto na legislação vigente de proteção e defesa do consumidor;"*

29. A proposta apresentada nesta Nota Técnica está, ainda, fundamentada nos seguintes dispositivos legais:

- a) Art. 73 da Lei nº 9.472, de 16 de julho de 1997;
- b) Resolução Conjunta ANEEL/ANATEL/ANP nº 001, de 24 de novembro de 1999;
- c) Resolução nº 581, de 29 de outubro de 2002.

#### V. DA CONCLUSÃO

30. Os possíveis benefícios dessa tecnologia para a sociedade exigem uma posição da Agência no sentido de preservar a qualidade dos serviços prestados pelas distribuidoras e ao mesmo tempo permitir que novos usos dos sistemas elétricos contribuam para a expansão dos serviços de telecomunicações em benefício da sociedade.

\* A Nota Técnica é um documento emitido pelas Unidades Organizacionais e destina-se a subsidiar as decisões da Agência.

Fl. 6 da Nota Técnica nº 0009/2009–SRD/ANEEL, de 21/01/2009

## **VI. DA RECOMENDAÇÃO**

31. Após a devida deliberação da Diretoria Colegiada da Agência, recomenda-se a instalação de processo de Audiência Pública, na modalidade presencial, com período de sessenta dias para recebimento de contribuições.

**ARMANDO SILVA FILHO**  
Especialista em Regulação

De acordo:

**JACONIAS DE AGUIAR**  
Superintendente de Regulação dos Serviços de Distribuição

\* A Nota Técnica é um documento emitido pelas Unidades Organizacionais e destina-se a subsidiar as decisões da Agência.

## **ANEXO B**

Resolução Normativa nº 3752009

## RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 375, DE 25 DE AGOSTO DE 2009

Regulamenta a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais.

### Relatório

### Voto

O Diretor-Geral da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto no § 1º do art. 6º da Lei n.º 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, nos incisos IV, VIII, IX, XIII e XVII do art. 3º da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nos incisos IV, XV e XVI do art. 4º, Anexo I do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, nos artigos 5º e 6º do Regulamento aprovado pela Resolução Conjunta nº 001 ANEEL/ANATEL/ANP, de 24 de novembro de 1999, o que consta do Processo nº 48500.000370/09-89, e considerando:

as contribuições recebidas no contexto da Audiência Pública – AP nº010/2009, realizada no período de 12 de março a 11 de maio de 2009, que contribuíram para o aperfeiçoamento deste ato regulamentar, resolve:

Art. 1º Regulamentar a utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais.

### DAS DEFINIÇÕES

Art. 2º Para os fins desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - *Power Line Communications* – PLC: sistema de telecomunicações que utiliza a rede elétrica como meio de transporte para a comunicação digital ou analógica de sinais, tais como: internet, vídeo, voz, entre outros, incluindo *Broadband over Power Line* – BPL.

II – Prestador de Serviço de PLC: toda pessoa jurídica detentora de autorização nos termos da regulamentação da Agência Nacional de Telecomunicações – Anatel para a exploração comercial de serviço de telecomunicações utilizando a tecnologia PLC.

III – Distribuidora: Agente titular de concessão ou permissão federal para prestar o serviço público de distribuição de energia elétrica.

### DA ABRANGÊNCIA, ATRIBUIÇÕES E RESPONSABILIDADES

Art. 3º As distribuidoras que atuam no Sistema Interligado Nacional – SIN não podem desenvolver atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC, exceto nos casos previstos em lei e nos respectivos contratos de concessão.

Parágrafo único. A distribuidora tem liberdade para fazer uso privativo da tecnologia PLC nas atividades de distribuição de energia elétrica, ou aplicação em projetos sociais, com fins científicos ou

experimentais, observadas as prescrições do contrato de concessão ou permissão e da legislação específica.

Art. 4º O Prestador de Serviço de PLC pode utilizar as instalações de distribuição de energia elétrica para a transmissão analógica ou digital de sinais, e disponibilizar seus serviços de telecomunicação aos seus clientes, de acordo com as normas e padrões técnicos da distribuidora, o disposto nesta Resolução e na regulamentação de serviços de telecomunicações e de uso de radiofrequências da Anatel.

§ 1º A implantação do sistema de PLC pelo prestador desses serviços deve ser precedida da celebração de contrato de uso comum das instalações da distribuidora.

§ 2º As instalações de distribuição de energia elétrica, por serem bens vinculados aos serviços concedidos, devem ter sua manutenção sob controle e gestão da distribuidora, de forma a atender às obrigações contidas no contrato de concessão ou permissão.

§ 3º A prestação dos serviços com o uso da tecnologia PLC não deve comprometer o atendimento aos parâmetros de qualidade da energia elétrica, segurança das instalações e proteção ao meio ambiente estabelecidos pelos órgãos competentes, assim como de obrigações associadas às concessões ou permissões outorgadas pelo Poder Concedente.

§ 4º É vedada, ao prestador de serviços PLC, a cessão ou comercialização com terceiros do direito de uso das instalações de distribuição de energia elétrica.

Art. 5º A destinação do uso das instalações de distribuição de energia elétrica para o desenvolvimento das atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC deve ser tratada de forma não discriminatória e a preços livremente negociados entre as partes.

Art. 6º A distribuidora deve disponibilizar suas instalações para o desenvolvimento de atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC mediante solicitação formal de algum interessado, ou por interesse próprio.

§ 1º Para disponibilizar suas instalações para o uso da tecnologia PLC, a distribuidora deve dar publicidade antecipada, durante três dias, sobre a infraestrutura e respectivas condições para uso das instalações de distribuição de energia elétrica, em, pelo menos, três jornais, sendo dois de circulação nacional.

§ 2º No ato da publicidade, deve ser dado prazo não inferior a 60 (sessenta) dias para apresentação das novas solicitações de uso das instalações para desenvolvimento da tecnologia PLC.

§ 3º A distribuidora deve fornecer todas as informações às empresas interessadas para a realização de estudos técnicos e econômicos relativos ao desenvolvimento de atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC, os quais são de responsabilidade do interessado.

Art. 7º A solicitação de uso das instalações de distribuição de energia elétrica para o desenvolvimento das atividades comerciais com o uso da tecnologia PLC deve ser feita formalmente, por escrito, e conter as informações técnicas necessárias para a análise de viabilidade de disponibilização da infraestrutura, bem como o plano de implantação, a demonstração da capacidade de execução do referido plano e o valor a ser pago pelo contrato de uso comum.

§ 1º A distribuidora somente poderá negar a solicitação devido à limitação na capacidade, segurança, confiabilidade ou violação de requisitos de engenharia.

§ 2º Em todos os casos previstos no parágrafo anterior, a distribuidora deve fornecer a justificativa com o devido embasamento, em até 60 (sessenta) dias após o recebimento da solicitação formal do interessado.

Art. 8º A distribuidora deve selecionar o Prestador de Serviço de PLC considerando o atendimento a todos os requisitos técnicos e o maior valor a ser pago pelo contrato de uso comum.

Parágrafo Único A escolha do Prestador de Serviço de PLC deve ocorrer em até 30 (trinta) dias após o término do prazo estabelecido no §2º do art. 6º.

## DAS RELAÇÕES CONTRATUAIS

Art. 9º Os critérios para celebração de atos e negócios jurídicos entre distribuidoras, suas sociedades controladas ou coligadas e outras sociedades controladas ou coligadas de controlador comum, no que tange à habilitação de prestador de serviços de PLC, considerado como parte relacionada, são os estabelecidos na Resolução Normativa nº [334](#), de 21 de outubro de 2008.

Art. 10. O contrato de uso comum das instalações de distribuição com o Prestador de Serviço de PLC deve dispor sobre as condições gerais dos serviços a serem prestados bem como as condições técnicas, operacionais, comerciais e responsabilidades mútuas a serem observadas.

§ 1º Objetivando resguardar as obrigações associadas às concessões ou permissões, cabe à distribuidora estabelecer, no contrato de uso comum de suas instalações com o Prestador de Serviço de PLC, cláusulas que definam responsabilidades e prazos para ressarcimento por eventuais danos causados a sua infraestrutura e que assegurem a prerrogativa de a mesma fiscalizar as obras do prestador de serviços, tanto na implantação do sistema quanto na manutenção e adequação.

§ 2º Os contratos devem revestir-se de todas as formalidades técnicas e legais, bem como observar as disposições contábeis previstas no Manual de Contabilidade do Setor Elétrico, instituído pela Resolução nº [444](#), de 26 de outubro de 2001.

§ 3º Os contratos devem conter Acordo Operativo observando, no que couber, o disposto no Anexo I da Seção 3.5 do Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

§ 4º Caso a distribuidora deseje utilizar a infraestrutura do Prestador de Serviço de PLC para atendimento às suas necessidades e interesses dos serviços públicos de distribuição de energia elétrica, o contrato de uso comum deve conter as condições para essa utilização.

Art. 11. Havendo necessidade de modificação ou adaptação das instalações da distribuidora, os custos decorrentes devem ser atribuídos ao Prestador de Serviço de PLC.

Art. 12. Os equipamentos a serem utilizados na composição do sistema de PLC que serão integrados às instalações de distribuição de energia elétrica devem obedecer à regulamentação específica da Anatel.

## DAS DISPOSIÇÕES GERAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 13. Para execução dos serviços nas instalações da distribuidora, o prestador de serviços de PLC deve observar as condições estabelecidas na Norma Regulamentadora NR 10 do Ministério do Trabalho - Instalações e Serviços em Eletricidade e outras aplicáveis, que estabelecem as condições

mínimas exigíveis para garantir a segurança dos empregados que trabalham em instalações elétricas e, também, de usuários e terceiros.

Art. 14. As receitas relativas à realização do objeto contratual devem ser contabilizadas em separado pelas distribuidoras, de forma a permitir, a qualquer tempo, a identificação dos valores relativos às operações de que trata esta Resolução pela ANEEL.

Art. 15. A apuração das receitas do uso das instalações de distribuição nas atividades com o uso do PLC terá reversão em prol da modicidade tarifária, nos termos da legislação específica estabelecida pela ANEEL.

Art. 16. Para fins de fiscalização pela ANEEL, a distribuidora deve manter as solicitações de uso das instalações de distribuição de energia elétrica para o desenvolvimento das atividades com o uso da tecnologia PLC, bem como as justificativas das negativas ao pedido ou o contrato de uso comum resultante da solicitação, em registro eletrônico e/ou impresso, de forma organizada e auditável, pelo período mínimo de cinco anos, contados da data do recebimento da solicitação.

Art. 17. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

NELSON JOSÉ HÜBNER MOREIRA

Este texto não substitui o publicado no D.O. de 28.08.2009, seção 1, p. 110, v. 146, n. 165.

## **ANEXO C**

### **Especificações do HomePlug TP-Link TL-PA201**



## 200Mbps Ethernet Powerline Adapter TL-PA201



High speed data transfer  
rate up to 200Mbps  
with Wire-Free feature

Plug-and-Play configuration,  
with push button 'Pair' to  
connect two adapters easily

Built-in QoS feature to  
meet the requirement of online  
gaming & audio/video streaming



### Description:

TP-LINK Ethernet Powerline Adapter TL-PA201 provides another wire-free solution for the SOHO life. The device is a 200Mbps Powerline Ethernet Adapter which transforms your house's existing electrical wiring into a ubiquitous networking infrastructure, it will easily extend your Cable/xDSL broadband connection or existing LAN to any other electrical outlet in any room of your house without new cabling.

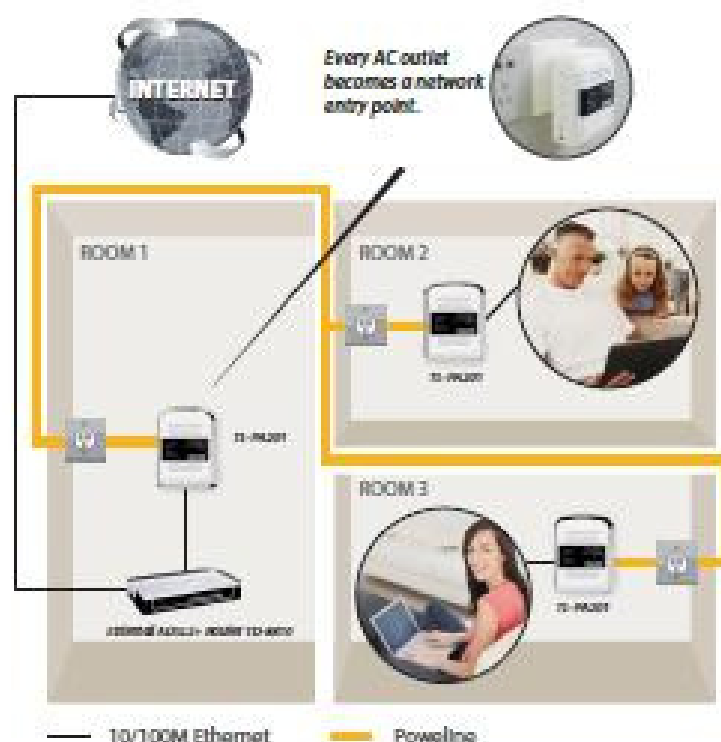
With two adapters plugged into your existing power outlet, you could simply press the 'pair' button to building a connection without other configuration.

Besides, with build-in QoS feature, TL-PA201 enables lag-free entertainment such as online/LAN gaming, audio/video streaming simultaneously and the application with real-time requirements.

## Specifications:

Standards	HomePlug AV 200Mbps IEEE 802.3 10/100M Ethernet
Interface	Ethernet LAN Port * 1
Modulation Technology	OFDM
Protocol Support	TCP/IP
Security	128-bit AES
Network Operating System Support	Windows 98 SE, 2000, XP, Vista
Plug Type	EU, UK, AU (replaceable)
LEDs	Powerline, Power, Ethernet, HP 1.0 DET
Range	200M in house
Power Consumption	<0W
Certifications	CE, RoHS compliant
Weight	165 grams
Environment	Temperature: +0°C ~ +60°C Humidity: 10% ~ 90% RH
Dimensions (LxWxH)	104 x 71 x 38 mm 4.1 x 2.8 x 1.5 in.

## Diagram:



## Features:

- High speed data transfer rate up to 200Mbps
- Easy Plug-N-Play operation, use existing electrical wiring
- Supports Push Buttons 'Pair' and 'Reset' on the case
- HomePlug AV standard compliant, works with AC input of 100V~240V
- Low power consumption
- Intelligent channel adaptation maximizes throughput under harsh channel conditions
- Supports IGMP managed multicast IP transmission, optimizes IPTV streaming
- Built-in QoS, prioritize the data, enabling smooth video streaming and lag-free gaming
- 128-bit AES encryption to secure powerline communications
- Transmission range up to 200m over household power supply grid

## Package:

- 200Mbps Ethernet Powerline Adapter TL-PA201
- Quick Installation Guide
- Ethernet Cable
- Resource CD, including:
  - TL-PA201 Ethernet Powerline Adapter Utility
  - User Guide
  - Other relevant contents

## Related Products:

- 5-port Unmanaged 10/100M Desktop Switch TL-SF1005D
- 108M Wireless ADSL2+ Router TL-W8920G
- 54M Wireless Access Point TL-WA501G
- 10/100M PCI Network Adapter TF-3239D

Specifications are subject to change without notice, a registered trademark of TP-LINK Technologies Co., Ltd. Other brands and product names are trademarks or registered trademarks of their respective holders. No part of the specification may be reproduced in any form or by any means or used to make any claims such as translation, modification, or adaptation without permission from TP-LINK Technologies Co., Ltd.